

UNIVERSIDADE CANDIDO MENDES - UCAM
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

William dos Santos Inácio

DIMENSIONAMENTO DA CARGA TÉRMICA DE RESFRIAMENTO DE
AMBIENTES: ESTUDO DE CASO NO INSTITUTO FEDERAL
FLUMINENSE *CAMPUS* ITAPERUNA

CAMPOS DOS GOYTACAZES, RJ
Junho de 2014

UNIVERSIDADE CANDIDO MENDES - UCAM
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

William dos Santos Inácio

DIMENSIONAMENTO DA CARGA TÉRMICA DE RESFRIAMENTO DE
AMBIENTES: ESTUDO DE CASO NO INSTITUTO FEDERAL
FLUMINENSE *CAMPUS* ITAPERUNA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, da Universidade Candido Mendes - Campos/RJ, para obtenção do grau de MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.

Orientador: Prof. Milton Erthal Junior, DSc

CAMPOS DOS GOYTACAZES, RJ
Junho de 2014

WILLIAM DOS SANTOS INÁCIO

DIMENSIONAMENTO DA CARGA TÉRMICA DE RESFRIAMENTO DE
AMBIENTES: ESTUDO DE CASO NO INSTITUTO FEDERAL
FLUMINENSE *CAMPUS* ITAPERUNA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, da Universidade Candido Mendes - Campos/RJ, para obtenção do grau de MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.

Aprovado em 27 de junho 2014.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Milton Erthal Junior, DSc
Universidade Candido Mendes

Prof. Aldo Shimoya, DSc
Universidade Candido Mendes

Prof.^a Suzana da Hora Macedo, DSc
Instituto Federal de Fluminense

CAMPOS DOS GOYTACAZES, RJ
2014

DEDICATÓRIAS

A Deus, por me dar a oportunidade de avançar na minha vida acadêmica e profissional.

À minha esposa e aos meus filhos Wender e Willem (nascerá em julho de 2014).

À minha avó Maria Anália (*in memoriam*) que dedicou suas forças para que me tornasse um bom cidadão.

Ao IFF, compromissada instituição de ensino da qual orgulhosamente fiz parte como aluno e agora faço parte como servidor.

AGRADECIMENTOS

A Deus, autor da minha fé, por me conceder a vitória em mais uma etapa de minha vida.

À minha avó Maria Anália (*in memoriam*) que me concedeu a base necessária para minha educação.

Ao meu filhão Wender, que mesmo tão pequeno demonstrou compreender os momentos de minha ausência, ele falava: “papai vão brincar”, eu brincava um pouco e logo voltava aos estudos, então ele dizia: “papai, você estuda muito, né?”.

Ao meu filhinho Willem que está quase chegando, o pequeno que chegará e trará mais alegria à família e será mais um para brincar comigo e Wender, nascerá em julho de 2014.

À minha esposa Elaine e minha tia Silvana pelas constantes orações demonstrando acreditar no meu sucesso.

À minha mãe Edna, meu irmão Washington Luís, minha prima/irmã Anna Sylvia, pelo apoio e pelas orações durante minha caminhada no mestrado.

Aos meus familiares e amigos pelos incentivos e orações.

Aos irmãos/amigos da Igreja Assembleia de Deus em Parque Guarus, Ministério Madureira, pelas orações.

Ao meu orientador Milton Erthal Junior pela dedicação nas orientações prestadas ao longo desse trabalho, pelos incentivos e pela amizade, e pelas ideias em cada reunião, que me deixava mais doido ainda (rs).

Aos professores do mestrado, em especial à professora Denise Cristina, ao professor Eduardo Shimoda (excelente!) e ao professor Aldo Shimoya pelas contribuições em todo esse processo de formação.

Às amigas Cristiane Barros e Nathália Maiolino, que me ajudaram do primeiro ao último dia do curso.

Aos colegas de mestrado pelo apoio e incentivo no decorrer de todo o curso, em especial: Aline Cretton, Anderson Alex, Cintia de Lima, Cristiane Barros, Joelma Vieira, Kíssila da Conceição, Luciano

Resende, Marília Gonçalves, Nathália Maiolino, Nivaldo Antônio, Ricardo Luiz, Rui Dantier, Talita Neme, Thiago Souza, Thiago Tadeu e Vitor Rangel.

Aos funcionários da UCAM, principalmente, Cida, Salete, Marta e Weila, pela presteza e dedicação.

Aos professores do Instituto Federal Fluminense, pelos incentivos, em especial: Alex Marca, Anthonete Mateus, Evanildo Leite, Francismar Berquó, Guilherme Dias, Maurício Machado, Mendel Aleluia, Plínio Rodrigues e Suzana Macedo.

Aos meus bolsistas Lucas Pereira, Maria Luiza e Ranielhy Spoladore.

Ao Instituto Federal Fluminense pelo suporte financeiro destinado à realização deste curso.

O coração do homem traça o seu caminho, mas o Senhor lhe dirige os passos.

*Bíblia Sagrada - Almeida Revista e
Atualizada - Provérbios 16:9*

Tudo posso naquele que me fortalece.

RESUMO

DIMENSIONAMENTO DA CARGA TÉRMICA DE RESFRIAMENTO DE AMBIENTES: ESTUDO DE CASO NO INSTITUTO FEDERAL FLUMINENSE CAMPUS ITAPERUNA

A estimativa do conforto térmico dos ambientes a serem climatizados deve ser prevista durante as fases de projeto, construção e operação da edificação. A climatização das salas de aula é um aspecto importante para a melhoria do espaço pedagógico, já que busca manter os alunos em situação de conforto durante as aulas. O clima ameno coopera para o melhor rendimento dos discentes, pois o ambiente físico, como iluminação, temperatura, acústica e uso de cores influenciam no conforto físico e psicológico, influenciando, portanto, no processo de aprendizagem. A proposta deste trabalho consiste em avaliar se os aparelhos de ar-condicionado (AAC) atualmente utilizados no Instituto Federal Fluminense (IFF) *campus* Itaperuna, são adequados para promover o conforto térmico para os usuários das salas de aula. Este trabalho também se propõe a realizar um redimensionamento dos AAC para esta instituição de ensino com base em duas normas técnicas da ABNT. A pesquisa científica foi realizada no período de outubro de 2012 a dezembro de 2013, a partir do levantamento de dados dos AAC atualmente instalados, do cálculo da carga térmica utilizando a metodologia proposta pela ABNT NBR 5858:1983 e pela metodologia proposta pela ABNT NBR 16401-1:2008 que consiste na utilização do *software* EnergyPlus do Departamento de Energia Americano. Para a simulação foi realizada modelagem em 3D, no *software* DesignBuilder, dos blocos B e C do IFF *campus* Itaperuna, onde possuem 12 salas de aula. Ao final da pesquisa constatou-se que nenhuma sala de aula possui um AAC apropriado para carga térmica calculada pelas duas metodologias. Em 7 salas de aula a carga térmica calculada pela ABNT NBR 16401-1:2008 foi maior que a carga térmica calculada pela ABNT NBR 5858:1983. Nas salas de aula B12, B14, B16, B17, B18 e C07 a diferença dos resultados da carga térmica foi menor que 3%. A maior diferença foi para a sala de aula C04, com 10,24%. A carga térmica calculada através da ABNT NBR 16401-1:2008 ficou em média 0,82% maior que a carga térmica calculada pela ABNT NBR 5858:1983. Sendo a carga térmica média calculada para as salas de aula de aproximadamente 32.523 BTU, sugere-se a utilização dos AAC de 30.000 BTU, com classificação energética "A" em todas salas de aula, que será o mesmo modelo do indicado para as salas de aula C04 e C07, pois possuem maior eficiência energética, o Coeficiente de Eficiência Energética (CEE) deste AAC é 3,24, enquanto que o CEE do AAC de 36.000 BTU é de 2,60.

PALAVRAS-CHAVE: Ar-condicionado. Carga térmica. Eficiência energética. EnergyPlus. DesignBuilder.

ABSTRACT

SIZING OF THERMAL LOAD COOLING ENVIRONMENTS: A CASE STUDY IN THE FEDERAL INSTITUTE FLUMINENSE *CAMPUS* ITAPERUNA

The thermal comfort estimation of environments that will be air-conditioned must be previously analyzed during the phases of the project, construction and operation of the building. The air-conditioning of the classrooms is an important aspect to improve the pedagogical space, as it seeks to keep the students in a comfortable situation during the classes. The pleasant climate contributes to the best performance of students, because the physical environment, such as lighting, temperature, sound and use of color influence on the physical and psychological comfort, thus influencing the learning process. The purpose of this work is to assess if the AAC, currently used at Instituto Federal Fluminense (IFF), are suitable for promoting thermal comfort for users of classrooms. This work also intends to conduct a resizing of the AAC for this educational institution based on two techniques from ABNT. The scientific research was carried out based on a data collection of the AAC that were recently installed, calculation of the thermal load using the methodology proposed by ABNT NBR 5858:1983 and the methodology proposed by ABNT NBR 16401-1:2008 which consists in using the software EnergyPlus from the U.S. Department of Energy. For the simulation was carried out 3D modeling, in DesignBuilder software, of the blocks B and C from Instituto Federal Fluminense *campus* Itaperuna, where there are 12 classrooms. At the end of the research it was verified that no class has an appropriate AAC to thermal load calculated by the two methods. In 7 classrooms the thermal load calculated by the ABNT NBR 16401-1:2008 was larger than the thermal load calculated by the ABNT NBR 5858:1983. In the classrooms B12, B14, B16, B17, B18 and C07 the difference between the results of the thermal load is smaller than 3%. The largest difference was for the classroom C04, with 10.24%. The thermal load calculated by the ABNT NBR 16401-1 was on average 0.82% higher than the thermal load calculated by the ABNT NBR 5858. With an average thermal load of approximately 32,523 BTU calculated for the classrooms, it suggested the use of AAC 30,000 BTU, with energy rating "A" in all classrooms, which will be the same model indicated for the classrooms C04 and C07, due to the fact of having a higher energy efficiency, the Coefficient of Energy Efficiency (CEE) of this AAC is 3.24, while the AAC of 36,000 BTU has an CEE of 2.60.

KEYWORDS: Air-conditioner. Thermal load. Energy efficiency. EnergyPlus. DesignBuilder.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Visão panorâmica do IFF <i>campus</i> Itaperuna, imagem do Google Maps de junho de 2011. Em destaque os blocos B e C onde o estudo foi realizado e o local da construção bloco F	38
Figura 2 - Arte gráfica do IFF <i>campus</i> Itaperuna, apresentando os blocos e os anexos.....	39
Figura 3 - Arte gráfica do Parque Acadêmico do IFF <i>campus</i> Itaperuna, cuja a obra iniciou em janeiro de 2014	41
Figura 4 - Módulos do EnergyPlys	47
Figura 5 - Tela do EnergyPlus IDF <i>Editor</i> , onde são informados os parâmetros para a simulação	48
Figura 6 - Hierarquia de dados do software DesignBuilder	49
Figura 7 - Painel de navegação do <i>software</i> DesignBuilder, que apresenta a estrutura dos dados inseridos	50
Figura 8 - Tela do <i>software</i> DesignBuilder	51
Figura 9 - Tela do <i>software</i> DesignBuilder para criar um novo projeto.....	52
Figura 10 - Tela do <i>software</i> DesignBuilder destacando a opção para criar uma construção.....	52
Figura 11 - <i>Layout</i> do bloco B no DesignBuilder, apresentando, em cores diferentes, os ambientes sem AAC, AAC desligado e AAC ligado	53
Figura 12 - <i>Layout</i> do bloco C no DesignBuilder, apresentando, em cores diferentes, os ambientes sem AAC, AAC desligado e AAC ligado	53
Figura 13 - <i>Layout</i> da sala B18, com janela (cor amarela) e porta (cor azul)	54
Figura 14 - Tela do <i>software</i> DesignBuilder, guia <i>Activity</i> , onde se configurou a taxa de ocupação, metabolismo, vestuário e a temperatura de resfriamento requerida para a sala B18	57
Figura 15 - Tela do <i>software</i> DesignBuilder, janela de edição das características das paredes, utilizando os parâmetros fornecidos pela ABNT NBR 15220-2:2003	58

Figura 16 - Inserção das características dos materiais, utilizando os parâmetros fornecidos pela ABNT NBR 15220-2:2003.....	59
Figura 17 - Tela do <i>software</i> Designbuilder, guia <i>Construction</i> , mostrando os aspectos dos materiais usados na construção do bloco B. Nesta etapa o programa detalha características do piso, das paredes, do telhado e das portas.	59
Figura 18 - Detalhes das janelas para serem informados na guia <i>Openings</i> , incluindo os detalhes das molduras e divisórias.....	60
Figura 19 - Detalhes das janelas para serem informados na guia <i>Openings</i>	60
Figura 20 - Tela do <i>software</i> Designbuilder, guia <i>Openings</i> , onde se configurou os detalhes construtivos das janelas da sala B18.....	61
Figura 21 - Tipos de luminárias disponíveis para serem utilizadas no <i>software</i> DesignBuilder.....	62
Figura 22 - Tela do <i>software</i> DesignBuilder, guia <i>Lighting</i> , onde se configurou o sistema de iluminação da sala B18.....	62
Figura 23 - Tela do <i>software</i> DesignBuilder, guia HVAC, onde se configurou o AAC para a sala B18.....	63
Figura 24 - Tela do <i>software</i> DesignBuilder, com os parâmetros para iniciar a simulação.....	64
Figura 25 - Imagem 3D do sombreamento dos blocos B (fachada sul) e C (fachada oeste) às 16 h.....	67
Figura 26 - Comparativo entre a carga térmica instalada, carga térmica calculada pela metodologia da ABNT NBR 5858:1983 e carga térmica calculada pela metodologia da ABNT NBR 16401-1:2008.....	68
Figura 27 - Diferença entre a carga térmica calculada pela metodologia da ABNT NBR 5858:1983 e a carga térmica instalada e a diferença entre a carga térmica calculada pela metodologia da ABNT NBR 16401-1:2008 e a carga térmica instalada.....	69
Figura 28 - Diferença entre a carga térmica calculada pela metodologia da ABNT NBR 5858:1983 e a carga térmica calculada pela metodologia da ABNT NBR 16401-1:2008.....	71
Figura 29 - Classificação energética dos AAC de 30.000 BTU disponíveis na lista do INMETRO.....	73

Figura 30 - Diferença entre a carga térmica do AAC com maior eficiência energética para as salas de aula e a carga térmica calculada utilizando a metodologia da ABNT NBR 16401-1:2008.....74

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1 - Relação das salas do bloco C e a função de cada uma.....	39
Tabela 2 - Relação das salas do bloco B e a função de cada uma.....	40
Tabela 3 - Limites de eficiência energética, definidos pelo INMETRO, de AAC do tipo split, para cada classe de eficiência energética	42
Tabela 4 - <i>Templates</i> , área, ocupação, equipamentos e iluminação das salas do bloco B	56
Tabela 5 - <i>Templates</i> , área, ocupação, equipamentos e iluminação das salas do bloco C.....	56
Tabela 6 - Características dos materiais das paredes, parâmetros fornecidos pela ABNT NBR 15220-2:2003	58
Tabela 7 - Relação dos AAC das salas de aula dos blocos B e C do IFF <i>campus</i> Itaperuna, indicando sua capacidade de refrigeração, potência elétrica, eficiência energética e classificação energética.....	65
Tabela 8 - Relação das cargas térmicas de resfriamento das salas de aula dos blocos B e C do IFF <i>campus</i> Itaperuna calculada com base na ABNT NBR 5858:1983	67
Tabela 9 - Relação das cargas térmicas de resfriamento das salas de aula dos blocos B e C do IFF <i>campus</i> Itaperuna calculada com base na ABNT NBR 16401-1:2008	68
Tabela 10 - Carga térmica calculada pela metodologia da ABNT NBR 5858:1983, carga térmica calculada pela metodologia da ABNT NBR 16401-1:2008 e a diferença entre elas.....	71
Tabela 11 - Relação de AAC para as salas de aula com capacidade de resfriamento igual ou superior à calculada utilizando a metodologia da ABNT NBR 16401-1:2008	72
Tabela 12 - Relação de AAC com maior eficiência energética para as salas de aula	73
Tabela 13 - Lotação sugerida para as salas de aula.....	66

Quadro 1 - Cálculo simplificado da carga térmica da sala de aula B18 utilizando a metodologia proposta pela ABNT NBR 5858:198344

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

AAC - Aparelho de ar-condicionado

ASHRAE - *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers*

AVAC - Aquecimento, ventilação e ar-condicionado

BLAST - *Building Loads Analysis and System Thermodynamics*

BTU - *British Thermal Unit*

CDF - *Computational Fluid Dynamics* - “dinâmica de fluido computacional”

CEE - Coeficiente de Eficiência Energética

CELIFF - Centro de Línguas do Instituto Federal Fluminense

CHESF - Companhia Hidro Elétrica do São Francisco

CISPCCTAE - Comissão Interna de Supervisão do Plano de Carreira dos Cargos Técnico-Administrativos em Educação

CLTD/CLF - *Cooling Load Temperature Difference/Cooling Load Factor*

CONMETRO - Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial

COP - Coeficiente de Performance

CPPD - Comissão Permanente de Pessoal Docente

CTIC - Coordenação de Tecnologia da Informação e Comunicação

EaD - Educação a Distância

ENCE - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia

EPW - EnergyPlus *Weather File*

ETFSC - Escola Técnica Federal de Santa Catarina

EVA - *Ethylene-Vinyl Acetate Copolymer*

HVAC - *Heating, Ventilation and Air-Conditioning*

IDF - *Input Data File*

IFF - Instituto Federal Fluminense

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

ISO - Organização Internacional para Padronização

LabEEE - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações

LBNL - *Lawrence Berkeley National Laboratory*

MDIC - Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior

MEC - Ministério da Educação e Cultura

NAE - Núcleo de Apoio ao Educando

NBR - Norma Brasileira

NREL - *National Renewable Energy Laboratory*

PBE - Programa Brasileiro de Etiquetagem

PMV - *Predicted Mean Vote*

PPD - *Predicted Percentage Dissatisfied*

PROED - Programa de Recuperação de Espaços

PROEJA - Programa de Integração da Educação Profissional Técnica de Nível Médio ao Ensino Médio na Modalidade de Educação de Jovens e Adultos

PROEP - Programa de Expansão da Educação Profissional

PRONATEC - Programa Nacional de Acesso ao Ensino Técnico e Emprego

RTS - *Radiant Time Series Method*

SINMETRO - Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial

TETD/TA - *Total Equivalent Temperature Difference/Time Averaging*

TFM - *Transfer Function Method*

UFAD - *Underfloor Air Distribution System*

UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina

UR - Umidade Relativa

USP - Universidade de São Paulo

LISTA DE SÍMBOLOS

λ - Condutividade térmica [W/m.K]

ρ - Densidade de massa aparente [kg/m³]

c - Calor específico ou capacidade térmica específica [J/kg.K]

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	20
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO	20
1.2. OBJETIVO DA PESQUISA.....	24
1.2.1. Objetivo geral	24
1.2.2. Objetivos específicos	24
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	25
2.1. SAÚDE E BEM ESTAR EM AMBIENTES FECHADOS	25
2.2. AMBIÊNCIA DE SALAS DE AULA	30
2.3. ARQUITETURA E CLIMATIZAÇÃO	31
3. METODOLOGIA	37
3.1. LOCALIZAÇÃO	37
3.2. ESTRUTURA FÍSICA	37
3.3. AMBIENTES AVALIADOS E OCUPAÇÃO.....	41
3.4. APARELHOS DE AR-CONDICIONADOS INSTALADOS	41
3.5. OCUPAÇÃO DAS SALAS DE AULA DE ACORDO COM OS AAC INSTALADOS CONSIDERANDO A ABNT NBR 5858:1983	42
3.6. CÁLCULO DA CARGA TÉRMICA.....	43
3.7. CÁLCULO DA CARGA TÉRMICA UTILIZANDO A ABNT NBR 5858:1983	43
3.8. CÁLCULO DA CARGA TÉRMICA UTILIZANDO A ABNT NBR 16401-1:2008	45
3.8.1. O software EnergyPlus	46

3.8.2. O software DesignBuilder	48
3.8.2.1. O <i>layout</i> do DesignBuilder	49
3.8.2.2. Criando um novo projeto.....	51
3.8.2.3. Inserindo os dados na guia <i>Activity</i>	55
3.8.2.4. Inserindo os dados na guia <i>Construction</i>	57
3.8.2.5. Inserindo os dados na guia <i>Openings</i>	60
3.8.2.6. Inserindo os dados na guia <i>Lighting</i>	62
3.8.2.7. Inserindo os dados na guia HVAC	63
3.8.2.8. Processando a simulação	63
3.9. OCUPAÇÃO DAS SALAS DE AULA ACORDO COM OS APARELHOS DE AR-CONDICIONADOS SUGERIDOS PARA INSTALAÇÃO	
Erro! Indicador não definido.	
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	65
4.1. APARELHOS DE AR-CONDICIONADO INSTALADOS.....	65
4.2. OCUPAÇÃO DAS SALAS DE AULA DE ACORDO COM OS AAC INSTALADOS.....	66
4.3. CARGA TÉRMICA DE RESFRIAMENTO CALCULADA COM BASE NA NBR 5858:1983	66
4.4. CÁLCULO DA CARGA TÉRMICA COM BASE NA ABNT NBR 16401-1:2008...	67
4.5. COMPARATIVO DOS RESULTADOS	68
4.6. AAC ADEQUADOS PARA CADA SALA DE AULA	71
CONSIDERAÇÕES FINAIS	75
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77

APÊNDICE A - LAYOUTS EM 3D DO BLOCO B NO DESIGNBUILDER	86
APÊNDICE B – LAYOUTS EM 3D DO BLOCO C NO DESIGNBUILDER.....	87
APÊNDICE C - LAYOUTS DOS BLOCOS “B” E “C” MODIFICADOS TOTALIZANDO 50 ZONAS NO DESIGNBUILDER	88
APÊNDICE D - LAYOUTS EM 3D DO BLOCO B COM TELHADO NO DESIGNBUILDER.....	89
APÊNDICE E - LAYOUTS EM 3D DO BLOCO C COM TELHADO NO DESIGNBUILDER.....	90
APÊNDICE F - LAYOUT DO REFEITÓRIO E VARANDA DO BLOCO C.....	91
ANEXO A - FORMULÁRIO PARA CÁLCULO SIMPLIFICADO DE CARGA TÉRMICA.....	92
ANEXO B - ABNT CATÁLOGO - ABNT NBR 5858.....	93
ANEXO C - ABNT CATÁLOGO - ABNT NBR 6401.....	94
ANEXO D - PLANTA BAIXA - BLOCOS “B” E “C”	95
ANEXO E - GRÁFICOS COM INFORMAÇÕES DE TEMPERATURA DO ARQUIVO CLIMÁTICO DE CAMPOS DOS GOYTACAZES	96

INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

A qualidade do ambiente interno é, atualmente, um aspecto importante, pois é crescente o tempo que as pessoas passam em um ambiente fechado. A estimativa do conforto térmico dos ambientes a serem climatizados deve ser prevista durante as fases de projeto, construção e operação da edificação (MARÉ, 2010).

Maré (2010) afirma que para a garantia do conforto térmico é fundamental averiguar os fatores que levam a qualidade do ar interior, que está relacionada ao tipo de sistema de ventilação, à sua manutenção e uso, a taxa de renovação de ar, condições climáticas e comportamento dos usuários. O nível de poluentes em um ambiente interno pode ser bem elevado, pois nele, existem poluentes de origem biológica, química e física (YANG et al., 2004). Sistemas mecânicos de ventilação e climatização do ar podem provocar problemas de saúde, mas, se bem projetados, operados e mantidos corretamente, estes sistemas são as ferramentas mais adequadas à manutenção do conforto térmico e da qualidade do ar interior nas edificações (FISK; SEPPANEN, 2007). Isso é importante nos ambientes de trabalho, inclusive nas instituições de ensino, favorecendo o aprendizado dos discentes.

Segundo o Programa de Recuperação de Espaços Didáticos (PROED), elaborado pela Pró-Reitoria de Graduação da Universidade de São Paulo (USP), os ambientes de ensino devem ser readequados para facilitar a relação ensino aprendizagem. Neste sentido, a sala de aula deve ser um local agradável, confortável e funcional (ALVES, 2011). Em média, os alunos passam, diariamente, cerca de quatro horas em uma sala de aula. Durante sua permanência neste ambiente é importante que o discente tenha um ambiente saudável, com ar limpo e

confortável. Este princípio está previsto pela Organização Mundial de Saúde (WHO, 1946, 2000), que considera os ambientes fechados insalubres, como uma questão de saúde pública e defende o direito do ser humano ao conforto térmico.

A climatização das salas de aula é um aspecto importante para a melhoria do espaço pedagógico, já que busca manter os alunos em situação de conforto durante as aulas. O clima agradável colabora para o melhor rendimento dos alunos, pois o ambiente físico, como iluminação, temperatura, acústica e uso de cores influenciam no conforto físico e psicológico, influenciando, portanto, no processo de aprendizagem. Segundo a norma brasileira (NBR) 16401-2 (ABNT, 2008b) a faixa de temperaturas para o verão, considerando-se o uso de roupas apropriadas para esta estação, é de 22,5 °C a 25,5 °C e umidade relativa do ar (UR) de 65%. Por outro lado, se a UR for de 35% o indicado é que a faixa de temperatura fique entre 23 °C e 26 °C.

O conforto térmico de um ambiente pode ser estudado à luz da “Carga Térmica”, que é a quantidade total de calor retirada ou colocada no recinto para proporcionar condições desejadas de temperatura e umidade, proporcionando um ambiente agradável para discentes e docentes (MATOS, 2010). A *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers* (ASHRAE) define conforto térmico como: “condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico [...]” (ASHRAE, 2012, p. 5).

O espaço de ensino deve se tornar um ambiente adequado ao processo de aprendizagem, sendo ele confortável e bem adaptado. Pensando assim, o conforto térmico nas salas de aula é uma questão que, dentre outras, depende da utilização correta do aparelho de ar-condicionado (AAC). Segundo o manual de Economia de Energia Elétrica no Escritório da Secretaria de Energia (SÃO PAULO, 2001b) o correto dimensionamento de um AAC acarreta em economia de energia elétrica e redução de suas despesas. Outras medidas simples podem colaborar com a redução de eletricidade durante a refrigeração de ambientes.

Segundo o manual de operação da Elgin (2010, p. 16) “se os filtros de ar estiverem bloqueados por poeira, a capacidade de refrigeração diminuirá e 6% da eletricidade usada para operar o condicionador de ar será desperdiçada”. Os fabricantes de AAC informam em seus manuais a periodicidade para limpeza do filtro de 15 a 30 dias. No entanto, a frequência da limpeza deve ser estreitada em locais empoeirados (CLIMAZON, 2012; ELETROLUX, 2012). Outro aspecto

importante para a economia de eletricidade é a prevenção da entrada da luz solar, que pode ser feita com uso de persianas ou cortinas (ELGIN, 2010). O Laboratório Nacional de Energia Renovável dos Estados Unidos - *National Renewable Energy Laboratory* (NREL) menciona que “negligenciar a manutenção necessária, garante um declínio constante no desempenho do ar-condicionado, enquanto o consumo de energia aumenta constantemente” (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 1999, p. 4).

Na sala de aula, assim como qualquer outro local de trabalho, devem ser avaliados os vários pontos de fonte de calor. Este procedimento é importante para o cálculo da potência, em unidade térmica britânica - *british thermal unit* (BTU), do AAC necessário para oferecer conforto térmico com eficiência energética. Pois um aparelho mal dimensionado terá que manter por mais tempo sua unidade de refrigeração ligada até atingir a temperatura esperada. Dependendo do subdimensionamento a unidade de refrigeração ficará o tempo todo acionado, acarretando no consumo elevado de energia elétrica, além de requerer mais manutenção e reduzir sua vida útil (SILVA; SILVA, 2007).

A racionalização do uso da energia elétrica deve ser considerada como critério de sustentabilidade. A redução do consumo de eletricidade colabora com a redução da poluição atmosférica, hídrica, térmica e radioativa, minimiza o aquecimento global e a ocorrência de chuva ácida (HINRICHS; KLEINBACK; REIS, 2010). Portanto, o dimensionamento correto dos AAC, pode colaborar nas instituições com a redução de consumo de energia elétrica, consequentemente os custos, além de minimizarem os impactos ambientais.

Segundo o Manual de Economia de Energia Elétrica na Escola da Secretaria de Energia (SÃO PAULO, 2001a) o uso do AAC com economia de energia inicia-se na aquisição do aparelho que apresente uma capacidade adequada de potência, na instalação, na rotina de uma manutenção eficiente e principalmente na sua utilização de forma racional.

O Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (SINMETRO) é um sistema brasileiro, constituído por entidades públicas e privadas, que exercem atividades relacionadas com metrologia, normalização, qualidade industrial e certificação da conformidade. Dentre as organizações que compõem o SINMETRO, pode-se citar a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) que é a responsável pela área de normalização. A ABNT é uma organização não

governamental, mantida com recursos da contribuição dos seus associados e do Governo Federal (INMETRO, 2013c).

O Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (CONMETRO) é o órgão normativo do SINMETRO e atua por meio de seus comitês técnicos assessores, que são abertos à sociedade, pela participação de entidades representativas das áreas acadêmica, indústria, comércio e outras atividades interessadas na questão da metrologia, da normalização e da qualidade no Brasil. O Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), uma autarquia federal, vinculada ao Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC), que atua como Secretaria Executiva do CONMETRO, que sua missão é prover confiança à sociedade brasileira nas medições e nos produtos, através da metrologia e da avaliação da conformidade, promovendo a harmonização das relações de consumo, a inovação e a competitividade do país (INMETRO, 2013b).

As NBR representam um diferencial positivo para engenheiros, fabricantes e para a sociedade, pois possuem significativa repercussão econômica e alcance social, gerando importantes benefícios como a adequação do produto às finalidades para as quais foram concebidos, visando, como objetivos, proporcionar simplificação, segurança, economia, proteção ao consumidor e eliminação de barreiras comerciais. Para atender as demandas atuais, a ABNT enfrenta novos desafios alterando o cenário da normalização devido à crescente preocupação do homem em relação à saúde, segurança, meio ambiente, além dos avanços tecnológicos.

Assim, apresenta-se como motivação para o desenvolvimento deste trabalho:

- Os alunos reclamam do desconforto térmico nas salas de aula;
- A demanda de energia elétrica na instituição de ensino apresenta picos de utilização;
- A indicação dos AAC a serem utilizados nas salas de aula não foram realizadas de acordo com os parâmetros das normas técnicas.

1.2. OBJETIVO DA PESQUISA

1.2.1. Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é avaliar a adequação técnica do sistema de climatização das salas de aula do Instituto Federal Fluminense (IFF) *campus* Itaperuna à luz de duas metodologias usadas para calcular a carga térmica de ambientes internos: ABNT NBR 5858:1983 e ABNT NBR 16401-1:2008.

1.2.2. Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são relacionados a seguir:

- i. Realizar um levantamento dos AAC atualmente instalados nas salas de aula;
- ii. Verificar qual a quantidade máxima de alunos que cada sala de aula comporta, de acordo com os AAC instalados;
- iii. Avaliar quais AAC deveriam ser instalados para atender os parâmetros de conforto térmico estabelecidos pela ABNT NBR 5858:1983;
- iv. Avaliar quais AAC deveriam ser instalados para atender os parâmetros de conforto térmico estabelecidos pela ABNT NBR 16401-1:2008;
- v. Comparar os resultados apresentados pelas duas NBR;
- vi. Propor possíveis melhorias para o conforto térmico dos ocupantes das salas de aula, atendendo aos requisitos das normas, com o mínimo de investimentos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. SAÚDE E BEM ESTAR EM AMBIENTES FECHADOS

Felix (2008) menciona que para alcançar o objetivo da realização de determinadas tarefas, as pessoas necessitam de uma sensação de bem-estar no ambiente em que se encontram, por esta razão, a grande maioria dos recintos fechados são climatizados artificialmente. Caso não haja essa sensação de conforto, o organismo humano provocará reações causadas pelo sistema termorregulador, que, por sua vez, tem a função de manter constante a temperatura interna do corpo, independente da temperatura ambiental. Para ele, o corpo humano interage com os fatores que compõem o meio em que está. Se houver equilíbrio entre a energia produzida pelo corpo e o calor que é perdido para o ambiente, a temperatura interna do corpo se mantém constante.

Felix (2008) seguiu os critérios de conforto de Fanger (1972) para avaliar condições de conforto térmico em salas cirúrgicas como previsto nas normas ISO 7730:1994 e ASHRAE 55 (ASHARE, 2004). Para Fanger (1972), existem três condições de conforto térmico para pessoas que permanecem um longo tempo em um ambiente: o equilíbrio das trocas de calor entre o corpo e o ambiente; a temperatura média da pele; e a produção de suor. Nesta pesquisa levaram-se em consideração os tipos de vestimenta, nível de atividade e fatores específicos do ambiente. O autor utilizou questionários para avaliações subjetivas e comprovou que a aplicação do método de Fanger (1970) para avaliar condições de conforto térmico em salas cirúrgicas foi adequada, embora fosse verificado o quanto é difícil propiciar condições de conforto térmico para toda a equipe cirúrgica devido ao tipo de vestimenta e a atividade que cada um realiza e também devido aos fatores locais,

observou-se que a temperatura em torno de 22 °C correspondeu melhor a condições de conforto térmico para os membros da equipe cirúrgica. Felix (2008) levou em consideração a influência do sistema de ar-condicionado no controle de contaminação nas salas cirúrgicas, na qual se pode observar que o sistema de fluxo unidirecional (laminar) apresentou maior contribuição no controle de contaminantes e melhores condições de conforto térmico.

Os autores Nakano, Tanabe e Kimura (2002), através de um trabalho no Japão, em um escritório com japoneses e não japoneses, analisaram os diferentes pontos de vista diante das percepções do ambiente de trabalho. Dos 406 questionários aplicados, somente 26% dos trabalhadores consideraram confortável o ambiente de trabalho. O desempenho do trabalho pode ser prejudicado, quando há entre os ocupantes, diferenças na percepção do ambiente. Afirma-se que enquanto um grupo de pessoas pode se sentir satisfeito com o ambiente climatizado, outro grupo no mesmo ambiente pode estar em situação de desconforto.

Gomes (2003) descreve a respeito de estudos de conforto térmico, que têm como meta analisar ou estabelecer condições de avaliação ou de contribuição para a adequação de ambientes térmicos às pessoas e às atividades neles realizadas. Ele realizou um estudo considerando a temperatura externa como parâmetro de avaliação das sensações de conforto, além de fazer parte deste estudo, comparações de vestimentas entre o sexo masculino e feminino, esta diferença influenciou o grau de acerto dos índices analíticos. Considerando o maior isolamento térmico das vestimentas, o acerto foi menor para o sexo masculino. Um bom parâmetro a ser adotado para estimar as sensações de conforto foi a temperatura externa.

Fabris (2003) leva em consideração as variáveis ambientais e suas influências no conforto térmico, destacando as mudanças climáticas. Para o autor, na concepção de um ambiente adequado que atenda os ocupantes em boas condições de conforto térmico, conhecer o clima do local é essencial, refere-se à arquitetura bioclimática. Nesse ponto de vista, a temperatura do ambiente é designada de acordo com a temperatura externa. Na realização do trabalho, fatores como preferências térmicas, características físicas, atividade exercida e vestimenta foram levados em consideração na medição de variáveis ambientais e pessoais. Embora existam muitos trabalhos e pesquisas embasados em estudos de Fanger

(1970), o autor relata pesquisas realizadas por Humphreys e Nicol (1996) com princípios contrários a estes estudos, mencionando que a temperatura interna do ambiente não tem a necessidade de ser uniforme, mas, manter uma relação com a temperatura externa.

Andreasi (2009) também realizou um trabalho tomando por base os estudos de Fanger (1982), Fanger et al. (1988), Fanger e Toftum (2002), *Predicted Mean Vote* (PMV) e *Predicted Percentage Dissatisfied* (PPD), normalizado pela norma ISO 7730:1994, um modelo que se baseia no balanço térmico entre o homem e as sensações térmicas atuantes sobre seu corpo, ou seja, uma diferença entre a produção interna de calor do corpo e a transferência desse calor para o ambiente. É destacado pelo autor que esse experimento foi realizado em câmara climatizada, com as variáveis de climatização controladas pelo pesquisador, o que é diferente de estudos realizados em campo, gerando divergência entre as sensações que são indicadas pelas pessoas e as indicadas pelo modelo. O referido trabalho foi realizado em interiores de edificações em regiões de clima quente no Brasil, com pessoas em atividades sedentárias. Em função do componente psicológico em informações de sensações e preferências térmicas humanas, foram aplicados conceitos da Bioestatística, observando contradições do modelo Fanger (1970), como a diferença de sensações entre gêneros dos ocupantes do recinto.

Wagner et al. (2007) também mencionam a questão do conforto e qualidade de trabalho nos edifícios com ar-condicionado, que ganhou mais importância através do “*Energy Performance of Buildings Directive*” na Europa, em 2001. Relatam que com a nova concepção de eficiência energética, exige-se revisão das normas de conforto, desenvolvidas exatamente para prédios com ar-condicionado. Através de um estudo de campo de quatro semanas durante o verão, em um prédio de escritórios com ventilação natural, na Alemanha, comprova-se que as sensações térmicas não correspondem às médias calculadas pelas normas, mostrando ser o modelo de conforto adaptativo uma boa opção para os ocupantes das salas de escritórios. Os autores relatam a dependência entre conforto térmico e temperatura exterior, independente do clima. Destacaram que ao classificar os parâmetros de satisfação individual, é possível uma avaliação mais direta na construção, com um potencial de otimização para os parâmetros de conforto, colaborando para a maior produtividade dos ocupantes, o que depende não só das operações de instalações

técnicas, mas também, do comportamento dos ocupantes em favor da construção específica.

Hwang et al. (2009) relatam que a técnica “modelo adaptativo de conforto térmico” apresenta muitas diferenças em relação a técnica padrão ASHRAE 55 (ASHRAE, 2004). Os autores realizaram um trabalho sobre o conforto térmico em locais de trabalho e residências localizadas em regiões quentes e úmidas de Taiwan. Este trabalho mostra que nos locais de trabalho as pessoas preferem diminuir a temperatura do ar, enquanto que nas suas residências elas preferem aumentar a velocidade do ar através de ventiladores elétricos ou da abertura das janelas. Os autores sugerem que, nos locais de trabalho, os AAC sejam trocados por ventiladores elétricos, o que colaboraria com a redução no consumo de energia elétrica.

Cheong et al. (2003) utilizaram a ferramenta “dinâmica de fluido computacional” - *computational fluid dynamics* (CDF) para simular os parâmetros de conforto térmico: temperatura, taxa de fluxo de ar e umidade relativa em um auditório que possui ar-condicionado em uma instituição de ensino superior. Os estudantes desta universidade responderam questionários que abordavam questões sobre saúde, satisfação ambiental e controle do ambiente do auditório. O trabalho concluiu que a temperatura, velocidade do ar e umidade do auditório estavam dentro dos limites aceitáveis estabelecidos pela norma ISO 7730:1994. Destaca-se a importância da realização de estudos semelhantes a estes para as salas de aula da universidade.

Uğursal e Culp (2013) descrevem a respeito da distribuição do ar no interior dos espaços na concepção de um ambiente térmico, relatando ser evidente o conforto térmico do ser humano através do fluxo de ar ao redor de seu corpo, onde até em temperaturas frias, a variação do fluxo de ar proporciona melhor conforto térmico do que se permanecer constante. Os autores realizaram uma pesquisa introduzindo o conceito, fluxo de ar localizado dinâmico, onde pessoas em temperaturas ambientes neutras e aquecidas, sedentárias e em condições de alta taxa metabólica receberam um fluxo de ar dinâmico direcionado para a cabeça, mãos e pés, na qual essas pessoas preferiram o aumento da velocidade do ar por promover uma melhor sensação de refrigeração do que o ar constante, constatando através deste trabalho que as pessoas preferem maior velocidade de ar.

Loureiro (2003) também destaca a necessidade das construções adequarem-se às condições climáticas do lugar. Desenvolveu um estudo de condições térmicas em residências na cidade de Manaus, cujo clima é quente e úmido. É possível observar que a arquitetura antiga da cidade demonstrava preocupação com o clima e tinha o interesse de propiciar conforto térmico às pessoas, na qual os prédios foram construídos com recursos para um bom arejamento e iluminação natural, como, por exemplo, pé-direito alto, com no mínimo cinco metros de altura, esquadrias altas e largas, permitindo maior possibilidade de ventilação e iluminação, e as ruas sempre arborizadas purificando o ar, porém, com a urbanização da cidade, sua caracterização foi se transformando com obras que já não dedicavam atenção ao conforto térmico, um exemplo é o uso inadequado de vidro nas construções e nas ruas as vegetações foram substituídas por asfaltos. A autora relata que no Brasil a devida atenção à conservação de energia só aconteceu entre os anos de 2000 e 2001 com a “crise do apagão”, onde programas neste sentido começaram a ser desenvolvidos.

Goméz e Lamberts (1995) realizaram um trabalho utilizando o programa de simulação energética DOE-2.1E. Apresentaram uma simulação das cargas térmicas em doze edifícios comerciais em Florianópolis - SC, todos com a mesma área e construídos com os mesmos materiais, mas, diferentes na forma, relação janela/parede, números de andares e orientação. Na simulação realizada verificaram-se em relação à orientação, que os edifícios com maiores faces voltadas para leste e oeste consomem mais energia elétrica. Em relação à radiação solar é de preferência que as janelas estejam localizadas nas fachadas que recebem menos radiação, nas orientações norte e sul, embora possa gerar conflitos em relação à direção dos ventos, mas, os ventos podem ser redirecionados por projetos na utilização de janelas com proteção solar. Outro fator importante neste estudo é a informação de que quanto maior a área de janela de vidro comum, que não possui *brises* ou *marquises* é maior o consumo de energia. A redução da relação janela/parede de 70% para 30% reduz o consumo de energia elétrica de 15 a 25%, principalmente em prédios retangulares.

Com o objetivo de reduzir a carga térmica e o consumo de energia elétrica no uso dos sistemas de ar-condicionado, a fim de proporcionar o conforto térmico e a proteção de equipamentos de uma subestação elétrica da Companhia Hidro Elétrica

do São Francisco (CHESF), Sousa (2012) desenvolveu argamassas de revestimentos compostas por gesso puro, gesso/EVA (*ethylene-vinyl acetate copolymer*) e gesso/vermiculita. Isso foi feito, pois em um determinado ambiente, existem materiais que provocam a condutividade térmica, ou seja, a condução de calor, o que gera problemas em relação ao conforto térmico. A argamassa elaborada funcionou como isolamento térmico, podendo alcançar até 36% de redução de carga térmica.

2.2. AMBIÊNCIA DE SALAS DE AULA

Cao et al. (2011) realizaram um estudo de sensação e adaptabilidade térmica de ocupantes de salas de aula e escritórios de uma universidade em Pequim, na China, durante o verão e a primavera. Através de questionários foi possível determinar a sensação térmica das pessoas que utilizavam os recintos. Neste estudo pode-se observar uma relação entre a temperatura interna e a sensação térmica, onde, por exemplo, no inverno, as pessoas se adaptaram ao ambiente frio de tal maneira que ao aquecer um pouco mais a temperatura interior do ambiente houve sensação de desconforto pelas pessoas.

Farias (2009), na realização de um trabalho sobre o ambiente escolar, aborda a necessidade de condições adequadas para o bom desenvolvimento das atividades pedagógicas. Dentre os fatores, os principais são: ruídos, iluminação e a temperatura, que juntos, devem propiciar um ambiente favorável à aprendizagem e à saúde. Segundo este autor, as escolas da rede municipal de Salvador apresentaram grande número de professores se queixando da ambiência nas salas de aula. Ao analisar as características arquitetônicas concluiu que os índices apresentaram resultados fora da faixa de conforto das normas nacionais e internacionais. As próprias características físicas do edifício não colaboram para o conforto térmico, o que interfere na qualidade de trabalho do professor. Ao realizar uma entrevista com os professores, 75,9% mencionaram a dificuldade de trabalho na sala de aula devido ao desconforto térmico. Os resultados foram alarmantes, considerando a necessidade de interdição da edificação para preservar a saúde dos professores, alunos e funcionários em geral.

Maré (2010) relata sobre um sistema que vem se desenvolvendo no Brasil que é a climatização com distribuição de ar pelo piso - *underfloor air distribution*

system (UFAD), também trata de situações que têm sido observadas com maior interesse que é a qualidade do ar interior e seus efeitos de bem-estar nas pessoas que ocupam ambientes climatizados. Este sistema tem sido representado nos sistemas de certificação ambiental em edificações por provocar benefícios ao conforto térmico com melhor qualidade do ar interior contribuindo também com a preservação de energia. A autora realizou um estudo para verificar a contribuição do respectivo sistema de climatização com o objetivo de promover a qualidade do ar interior em uma sala de aula com 48 alunos no Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da USP. As condições de operação do sistema demonstraram remoção de contaminantes no ambiente estudado.

O estudo de campo realizado por Xavier (1999) na Escola Técnica Federal de Santa Catarina (ETFSC), cujo objetivo foi determinar índices e parâmetros de conforto térmico baseando-se em análise estatísticas. O autor lembra a década de 1970 em que aconteceram muitas construções voltadas para a área educacional, principalmente obras públicas, mas, ressalta que não foi possível verificar cuidados nas mesmas em relação ao conforto térmico das pessoas, pois, foram projetos realizados em grandes escalas, sendo o mesmo para cada região do Brasil. Dessa forma, o trabalho aponta que para o conforto térmico de edificações, neste caso, escolas, é necessário determinar os índices ambientais e pessoais de conforto térmico e o que exerce influência sobre este conforto, levando em consideração o clima da região em que a escola está localizada.

2.3. ARQUITETURA E CLIMATIZAÇÃO

Segundo Ara (2010) é importante considerar práticas de iniciativas sustentáveis para a utilização dos recursos energéticos. O poder público, empresas, organizações e a sociedade civil, devem reconhecer que esta questão requer seriedade para minimizar os impactos sociais, econômicos, políticos e, principalmente, ambientais, que resultam da má gestão dos recursos energéticos. A demanda por energia aumentou significativamente com a expansão do uso de AAC.

Ara (2010) ainda afirma que em países em desenvolvimento, como o Brasil, a utilização da energia tende a crescer cada vez mais, assumindo um nível maior de utilização como os países desenvolvidos, o que pode afetar ainda mais as questões

energéticas. O autor ressalta que a utilização de energias renováveis tem se tornado cada vez mais evidente no Brasil e, dentre elas, está a energia solar que também favorece os sistemas de aquecimento de ar. No Brasil é importante o aproveitamento deste recurso, uma vez que os níveis de radiação solar e insolação são bem elevados. Dentre as tecnologias, coletores solares térmicos com *chiller* de absorção é o mais difundido.

Ara (2010), na sua pesquisa, utilizou o *software* EnergyPlus para obter a carga térmica de um edifício e, para obter o desempenho energético dos sistemas, aplicou o método de cálculo de consumo de energia dos sistemas de ar-condicionado solar proposto pela União Europeia, método denominado Projeto SOLAIR. Na conclusão do trabalho, destaca-se a necessidade da construção civil tomar providências sustentáveis. No Brasil as edificações devem aproveitar a energia solar nos sistemas de ar-condicionado. Para o bom desempenho do sistema de ar-condicionado solar térmico, o prédio deve ter poucos pavimentos e a área na qual é realizada a instalação dos painéis solares fotovoltaicos é um fator determinante no desempenho energético do sistema. Como relata o autor, para apresentar soluções ainda mais atrativas e alcançar o mercado, esta tecnologia deve ser mais aprimorada.

Brandão et al. (2008) relatam o estudo que fez parte da maior pesquisa e projeto de consultoria envolvendo questões ambientais, que buscou mostrar o desempenho térmico dos edifícios com ar-condicionado do centro de pesquisas de uma companhia brasileira de petróleo, no Rio de Janeiro, levando em consideração o clima tropical do lugar. O projeto arquitetônico, que desde 2004 foi assunto de competição nacional, procurou desenvolver programas de eficiência energética dos sistemas, introduzindo ventilação natural e conforto adaptativo, realizando simulações dinâmicas térmicas e obtendo como resultado, grande contribuição para a eficiência energética dos edifícios.

Orosa e Oliveira (2010) revelam um estudo realizado, nos últimos dez anos, em 50 estações meteorológicas de Galiza, na Espanha, com o objetivo de coletar condições climáticas dessa região, na qual foram propostos e testados quatro modelos de conforto térmico. Verificou-se que o consumo de energia poderia aumentar devido as mudanças no clima (temperatura externa média). Durante este estudo foi observado que o maior aumento proporcional da temperatura foi na

primavera, o que refletiu em um aumento diário no consumo de energia de 3,2 kWh. Os autores realizaram uma simulação das condições climáticas para os próximos 20 anos, visando definir o novo valor de temperatura neutra, conforme os modelos adaptativos. Os resultados deste estudo revelaram que no momento as residências da região estudada não necessitam de sistemas de refrigeração, mas, no futuro bem próximo, esta necessidade surgirá, devido às mudanças climáticas, na qual espera-se encontrar um novo valor de temperatura neutra de acordo com o modelo ASHRAE.

Chow et al. (2010) reportam que o AAC é normalmente instalado nos locais de trabalho para aumentar a produtividade do trabalho e o conforto térmico humano. É desejável, do ponto de vista da sustentabilidade, que para conseguir a sensação térmica aceitável em um edifício, a utilização de energia elétrica seja mínima. Relatam que para aumentar a circulação de ar de modo que o ajuste de temperatura de verão possa ser elevada, uma nova concepção tática de ar-condicionado é necessária. Realizaram uma pesquisa de conforto térmico em laboratório com cerca de 300 chineses no território de Hong Kong. A sensação térmica das pessoas de Hong Kong é sensível à temperatura do ar e velocidade, mas, não muito à umidade, assim como em muitas outras cidades asiáticas. Recomendam que para os ambientes controlados com ar-condicionado, uma prática sustentável, seja aumentar a velocidade do ar, e não reduzir a umidade e temperatura do ar.

Melo (2007) também em um trabalho com análise de desempenho energético de edificações comerciais, baseando-se na capacidade térmica das paredes e das coberturas das respectivas edificações, utilizou o programa EnergyPlus para simulação de casos com diferentes cargas térmicas. Foi realizado o cálculo do balanço térmico para analisar ganhos e perdas de calor dos componentes opacos da edificação, tais cálculos envolveram os processos de condução, convecção e radiação. Através do programa EnergyPlus foram analisados os picos de carga do sistema de ar-condicionado e o dimensionamento de potência destes aparelhos.

Serafin (2010) também relata a respeito da busca pela eficiência energética que se iniciou com mais intensidade em 2001 com o racionamento de energia no Brasil. A autora destaca o grande gasto de energia em edificações comerciais, que segundo estudos bibliográficos, o consumo pode ser reduzido através de *retrofit*, ou seja, “alterações ou reformas em sistemas consumidores de energia elétrica,

visando à sua conservação” (GHISI, 1997, p. 21), é mais utilizado nos Estados Unidos e apresenta contribuições para redução de consumo de energia em sistemas de iluminação e climatização. Foi realizado um estudo de caso para a sede da Eletrosul Centrais Elétricas S.A. e, em comparações feitas entre o período de *retrofit*, os anos anteriores e os subsequentes, foi possível observar uma redução de energia de 75% no sistema de climatização. Como resultado do trabalho pode verificar uma redução no consumo de energia e na demanda, cuja revisão de contrato e mudanças na rotina de uso, geraram formas de aumentar a economia de energia e economia financeira nas edificações.

Fasiuddin, Budaiwi e Abdou (2010) reportam sobre o grande consumo de energia elétrica em *shoppings* localizados na Arábia Saudita, cujo clima é quente-úmido, devido aos sistemas de *Heating, Ventilation and Air-Conditioning* (HVAC). Neste trabalho, os autores apresentam um estudo de economia energética e melhorias no conforto térmico com o uso do programa VisualDOE 4.0, visando uma precisa simulação do *retrofit*. Realizou-se uma investigação de estratégias de investimentos zero, como controle de termostato, operação em tempos regulares, entre outros, comprovando possibilidades de economia de energia de até 30% em um nível aceitável de conforto térmico com um sistema de climatização adequadamente selecionado e utilizado.

Inatomi (2008) realizou um trabalho considerando a distribuição de ar pelo piso - *underfloor air distribution system* (UFAD) em escritórios na cidade de São Paulo, na qual foi feita a avaliação do desempenho energético deste sistema de ar-condicionado. Foi utilizado o programa EnergyPlus 2.1.0.023, os modelos numéricos que são implementados neste programa representam adequadamente o sistema UFAD. Para o desenvolvimento dos modelos de simulação utilizou uma câmara de teste, que segundo Inatomi (2008), foi desenvolvida por Leite (2003) para avaliação do conforto térmico proporcionado pelo sistema UFAD. Constatou-se que o consumo de energia do sistema UFAD na cidade de São Paulo pode ser reduzido em 34,5% se houver relação entre a arquitetura do sistema, controle dos ciclos economizadores e dados climáticos.

Elsherbini e Maheshwari (2010) apresentam uma técnica chamada *Shading* que é utilizada para reduzir a demanda de refrigeração em edifícios e economizar

energia. Eles investigaram a possibilidade de redução da demanda de energia elétrica e de economia de energia pelo sombreamento dos condensadores dos AAC, reportaram que, em um país como o Kuwait, estes aparelhos são responsáveis por cerca de 70% da demanda de energia elétrica nos horários de pico e 45% do consumo anual. Melhorias na eficiência do sistema de ar-condicionado e a redução da carga de refrigeração são classificações atribuídas ao impacto potencial do sombreamento sobre o consumo de energia. O sombreamento pode melhorar a eficiência do sistema, provocando redução do ganho de calor solar para o condensador, diminuindo sua temperatura e melhorando a eficiência do sistema.

Lu (2007) apresentou um trabalho que busca analisar duas normas nacionais de eficiência energética emitidas pela China, são elas: GB 19577-2004 e GB 19576-2004, e estabelece um modelo matemático para avaliar a economia de energia e os impactos ambientais provocados pelas normas. Isso mostra que a China busca a redução do consumo de energia e procura lidar melhor com as questões ambientais. Relatam que a implementação de tais normas provoca economia de energia em massa e contribui para o meio ambiente, o que é de grande valia para o país, devido seu rápido desenvolvimento econômico e a melhoria do padrão de vida das pessoas.

Ding, Tian e Zhu (2010) também realizaram um trabalho referente à China, que por meio de exigências da política nacional chinesa de eficiência energética e redução de emissões, otimiza o *retrofit* no sistema de ar-condicionado de edifícios justamente para contribuir com a eficiência energética e implementar a redução de emissões. O trabalho apresenta esquemas de *retrofit* após análises sobre o sistema de ar-condicionado de uma empresa industrial, e enfocam a questão da umidificação e da desumidificação no sistema de ar-condicionado que carece de métodos mais adequados para melhorar a avaliação do diagnóstico sobre o consumo de energia. Conclui-se que através do *retrofit* os edifícios podem melhor implementar a eficiência energética.

Rupp (2011) trata de um trabalho de utilização de energia híbrida, uma alternância entre a ventilação natural e o condicionamento artificial. Este autor desenvolveu um método para pré-dimensionar área de janela baseado no consumo de energia elétrica em edificações comerciais, determinando a que leva a um menor consumo de energia elétrica. Este trabalho se baseou em simulações nos

programas EnergyPlus e Daysim. Foi realizado um estudo sobre três métodos de avaliação do conforto térmico, para definir qual deles é o mais adequado para ser utilizado em edificações comerciais híbridas, onde há predominância de clima de verão quente e úmido, que são: método de ASHRAE 55 (ASHRAE, 2004) para ambientes climatizados artificialmente e ambientes condicionados naturalmente e método de Givoni (1992) para climas quentes e úmidos. No resultado do trabalho foi possível constatar que a utilização da ventilação híbrida em dias quentes pode provocar insatisfação nas pessoas quanto ao conforto térmico, quando o sistema de ar-condicionado é desligado.

Hirst e Moyers (1973) relacionam as práticas para poupar grandes quantidades de energia nos Estados Unidos. Para os sistemas de ar-condicionado, informam que isolamento de edifícios e adição de janelas colaboram para a redução do consumo de energia, causando economia financeira. Relatam que se desde 1970 essas práticas tivessem sido adotadas, haveria um aumento de 67% de eficiência energética com uma economia de 15,8 bilhões de quilowatts-hora neste mesmo ano.

3. METODOLOGIA

3.1. LOCALIZAÇÃO

O IFF *campus* Itaperuna está localizado na BR 356, km 3, bairro Cidade Nova, no município de Itaperuna, região Noroeste Fluminense, estado do Rio de Janeiro, latitude 21°11'15" sul, longitude 41°55'46" oeste e altitude de 131 metros, estes dados foram obtidos através do *software* Google Earth.

3.2. ESTRUTURA FÍSICA

O *campus* Itaperuna foi criado pelo IFF, através do Governo Federal em parceria com o Governo Municipal, pelo Programa de Expansão da Educação Profissional (PROEP) do Ministério da Educação e Cultura (MEC), iniciando suas atividades no dia 23 de março de 2009 com o ingresso de 200 alunos matriculados nos cursos Técnicos em Eletrotécnica Regular, Eletrotécnica PROEJA e Guia de Turismo, cursos escolhidos pela comunidade por meio de audiências públicas. Em 2010 foram ofertados os cursos Técnicos em Eletromecânica e em Informática. Também oferece cursos através Programa Nacional de Acesso ao Ensino Técnico e Emprego (PRONATEC); pelo Programa Mulheres Mil; além dos cursos na modalidade de Educação a Distância (EaD): curso Técnico em Guia de Turismo e em Eventos, no *campus* Itaperuna, e curso Técnico em Segurança do Trabalho no polo localizado no município de Miracema.

O *campus* está em fase de expansão, no segundo semestre de 2013 foi inaugurado o curso superior de Bacharelado em Sistemas de Informação, primeiro

curso de formação superior. Ainda em 2013 foi inaugurado o bloco F, com dois andares, que possui mais salas de aula e laboratórios de informática, além das salas: Direção de Pesquisa e Extensão, Setor de Administração, Centro de Línguas do IFF (CELIFF).

O campus possui 06 blocos e 05 anexos (AN). O objeto deste estudo são os blocos B e C, conforme destacados na Figura 1, onde estão localizadas a maior parte das salas de aula desta instituição. O bloco F, apesar de possuir 06 salas de aula, não faz parte deste estudo, pois o mesmo foi inaugurado no final de 2013 e as pesquisas deste trabalho iniciaram-se no final de 2012. A distribuição das salas em cada um dos blocos, objetos deste estudo, podem ser observadas na Tabela 1 e na Tabela 2. Além das salas listadas nas tabelas, cada bloco possui dois banheiros masculinos (BM1 e BM2) e dois banheiros femininos (BF1 e BF2), conforme Figura 11 e Figura 12.

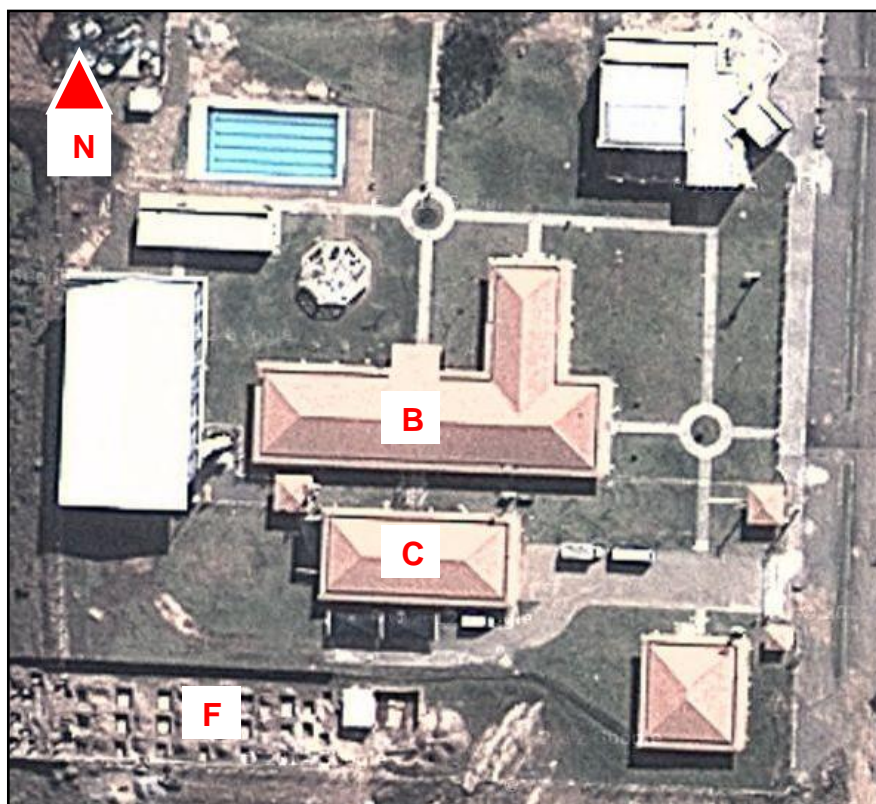


Figura 1 - Visão panorâmica do IFF *campus* Itaperuna, imagem do Google Maps de junho de 2011. Em destaque os blocos B e C onde o estudo foi realizado e o local da construção bloco F
Fonte: Google (2013)

Na Figura 2 pode-se observar os blocos A, B, C, D, E e F e os AN, que são: quadra de futebol, academia, piscina e campo de futebol.

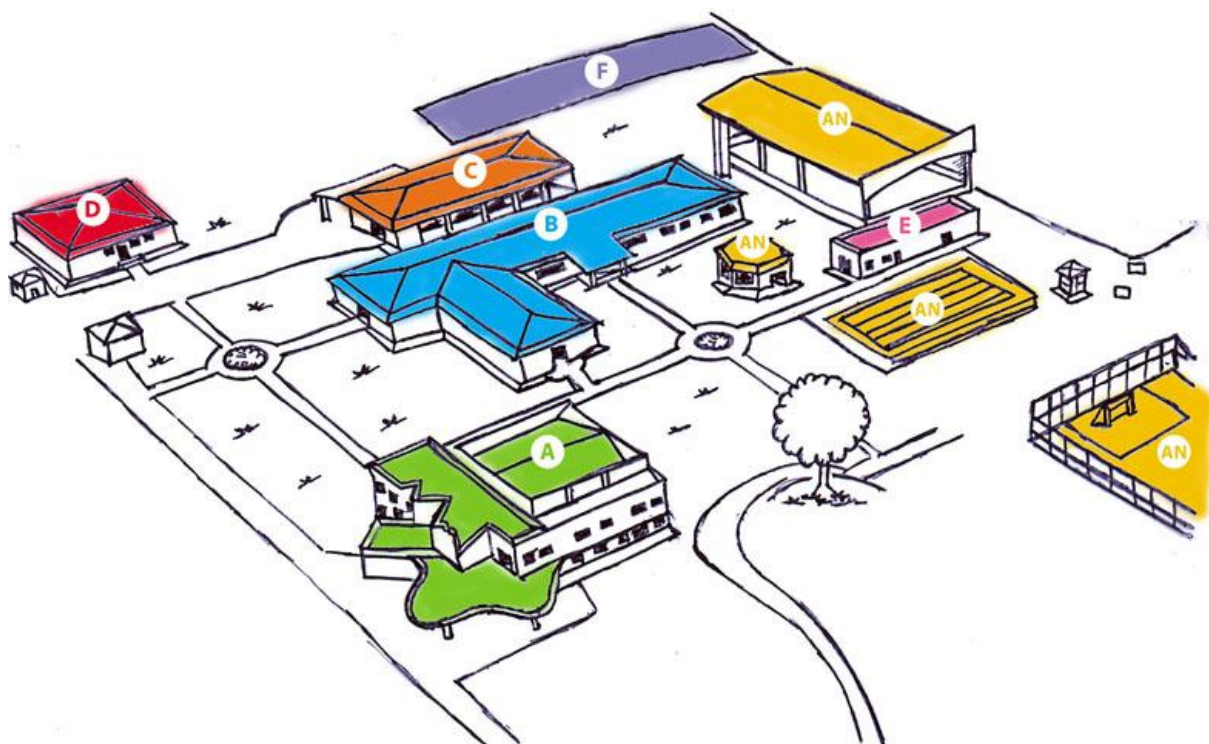


Figura 2 - Arte gráfica do IFF *campus* Itaperuna, apresentando os blocos e os anexos
Fonte: IFF (2013a)

Tabela 1 - Relação das salas do bloco C e a função de cada uma

Sala	Função
C01	Despensa
C02	Almoxarifado
C03	Setor de Transporte e Infraestrutura
C04	Sala de Aula
C05	Laboratório de Usinagem
C06	Almoxarifado
C07	Sala de aula
C08	Laboratório de Soldagem
C09	Sala de aula
C10	Copa

Em janeiro 2014 iniciou a construção do Parque Acadêmico, que possuirá cerca de 8.000 m², entre área construída e área verde, proporcionará salas certificadas para a realização de atividades práticas com 80 m², cada. Entre os dois blocos de laboratórios, será construído um laboratório (casa modelo) para a prática de instalações elétricas residenciais e instalações especiais, tais como: sistemas de

alarme e porteiro eletrônico (IFF, 2014). Na Figura 3 pode-se visualizar uma arte gráfica do Parque Acadêmico.

Tabela 2 - Relação das salas do bloco B e a função de cada uma

Sala	Função
B01	Direção de Ensino
B02	Convivência
B03	PRONATEC Mulheres Mil
B04	CISPCCTAE / CPPD
B05	Coordenação de Cursos
B06	Núcleo de Apoio ao Educando (NAE)
B07	Sala de Reunião do NAE
B08	Sala dos Professores
B09	CTIC
B10	Sala de Aula
B11	Sala de Aula
B12	Sala de Aula
B13	Sala de Aula
B14	Sala de Aula
B15	Sala de Aula
B16	Sala de Aula
B17	Sala de Aula
B18	Sala de Aula
B19	Auditório
B20	Laboratório de Informática
B21	Laboratório de Instalações Elétricas
B22	Micródomo ¹
B23	Laboratório de Eletrônica Digital
B24	Laboratório de Acionamentos
B25	Laboratório de AutoCAD
B26	Mecanografia
B27	Laboratório de Eletrônica Analógica

¹ Laboratório de informática com acesso à Internet para uso dos alunos em atividades de pesquisa e elaboração de trabalhos.



Figura 3 - Arte gráfica do Parque Acadêmico do IFF *campus* Itaperuna, cuja a obra iniciou em janeiro de 2014
Fonte: IFF (2014)

3.3. AMBIENTES AVALIADOS E OCUPAÇÃO

Ao todo foram avaliadas 12 salas de aula segundo os parâmetros indicados nas NBR 5858 (ABNT, 1983) e NBR 16401-1 (ABNT, 2008a), entre eles: posição das janelas em relação à incidência solar, transmissão de raios solares nas janelas, tipo de vidro usado nas janelas, incidência de raios solares nas paredes, tipo de revestimento do teto, número de pessoas no ambiente, tipo e quantidade de lâmpadas em cada sala de aula. Não foram considerados os parâmetros: aparelhos elétricos e números de computadores, já que, o uso destes equipamentos nas salas é variável, de acordo com a necessidade de cada professor ou atividade desenvolvida.

Considerando-se que o processo seletivo de alunos novos contempla 35 vagas por turma (IFF, 2013b), adotou-se a ocupação média de 36 pessoas por sala, sendo um docente e 35 discentes para todos os ambientes estudados, apesar das faltas diárias, desistências e abandonos dos discentes, o que certamente diminui a frequência máxima esperada. Decidiu-se prosseguir o trabalho com este valor para não haver risco de subestimar a carga térmica.

3.4. APARELHOS DE AR-CONDICIONADOS INSTALADOS

Os dados referentes aos AAC atualmente instalados foram obtidos através de inspeção local nos mesmos. Enquanto que, para a identificação da sua classificação quanto à eficiência energética, foram utilizados os dados disponíveis no site do INMETRO (2013a).

O Coeficiente de Eficiência Energética (CEE), ou Coeficiente de Performance (COP), é a relação entre a capacidade de refrigeração e o consumo de um AAC. O cálculo resulta da divisão entre a capacidade de refrigeração do equipamento em Watts (W) e o consumo de energia elétrica em W. Equipamentos que apresentam um consumo de energia elétrica elevado para uma determinada capacidade de arrefecimento têm CEE baixos. A classificação energética do equipamento é determinada pelo CEE. Quanto mais alto é o valor do índice, mais eficiente é o equipamento. Na Tabela 3 pode-se observar os limites do CEE estabelecido pelo INMETRO (2013a), em fevereiro 2013, para AAC do tipo *split*.

Tabela 3 - Limites de eficiência energética, definidos pelo INMETRO, de AAC do tipo *split*, para cada classe de eficiência energética

Classes	CEE (W/W)	
	Mínimo	Máximo
A	3,20	-
B	3,01	3,20
C	2,81	3,00
D	2,61	2,80
E	2,39	2,60

Fonte: INMETRO (2013a)

3.5. OCUPAÇÃO DAS SALAS DE AULA DE ACORDO COM OS AAC INSTALADOS CONSIDERANDO A ABNT NBR 5858:1983

Para conhecer qual deveria ser a ocupação dos ambientes com os AAC atualmente utilizados, foi estimado o número adequado de pessoas que deveriam estar em cada sala durante sua utilização, de modo a atingir o conforto térmico adequado.

Foi utilizada a mesma metodologia descrita no Item 3.7 deste trabalho, do subtotal foi subtraído a carga térmica referente ao item "VI - Pessoas", 36 pessoas, e multiplicado pelo fator geográfico 0,85, referente à região Sudeste (ABNT, 1983) e ao resultado final, expresso em kJ/h, foi multiplicado por 0,948 para obter a unidade em BTU (CHEN; THOMPSON, 1989; JOHNSON, 2012).

Foi subtraída da carga térmica do AAC atualmente instalado o valor da carga térmica da sala de aula sem ocupação, conforme descrito no parágrafo anterior. A diferença foi dividida pelo fator 630, referente ao item "VI - Pessoas" e multiplicado pelo fator geográfico 0,85, referente à região Sudeste e pelo fator 0,948, obtendo a quantidade máxima de pessoas para a ocupação da sala de aula.

3.6. CÁLCULO DA CARGA TÉRMICA

Os cálculos da carga térmica dos blocos B e C do IFF *campus* Itaperuna foram realizados com base em duas metodologias: ABNT NBR 5858:1983 e ABNT NBR 16401-1:2008. Esta decisão foi tomada uma vez que a primeira norma, que foi cancelada, apresenta uma base de cálculo relativamente simples. A segunda norma: ABNT NBR 16401-1 foi elaborada com base nas normas técnicas da (ASHRAE), que leva em consideração uma série de detalhes, desde o local e posicionamento dos prédios, materiais usados na construção, aspectos arquitetônicos e ocupação dos ambientes, incluindo, portanto, um amplo detalhamento de informações sobre o ambiente estudado. Por entender que ambas as metodologias apresentam vantagens e desvantagens, ambas foram avaliadas para um diagnóstico final.

3.7. CÁLCULO DA CARGA TÉRMICA UTILIZANDO A ABNT NBR 5858:1983

Para o cálculo simplificado da carga térmica foi utilizado o modelo do formulário do anexo A da NBR 5858 (ABNT, 1983). Para facilitar os cálculos, uma planilha foi criada no *software* Microsoft Excel 2013, onde os dados de carga térmica foram informados para cada sala estudada. Ao final deste processo obtêm-se o valor da carga térmica para cada ambiente, que deve ser multiplicado pelo fator geográfico 0,85, referente à região Sudeste (ABNT, 1983). O resultado final, expresso em kJ/h, foi multiplicado por 0,948 para obter a unidade em BTU (CHEN; THOMPSON, 1989; JOHNSON, 2012).

Para entender como os cálculos de carga térmica foram realizados, usou-se o exemplo para a sala de aula B18, conforme Quadro 1.

A orientação da janela da sala B18 é Norte, com área total de 7,081 m² e não possui proteção interna e/ou externa, logo, sua área foi multiplicada pelo fator 1.000, totalizando 7.081 kJ/h, quanto à parede, item “3.2. Externa outras orientações”, considerou-se o fator 84 referente à “construção leve” que segundo a NBR 5858 (ABNT, 1983), construção leve é a parede com espessura inferior a 15 cm. O item VIII não foi utilizado no cálculo da carga térmica de nenhuma sala de aula, pois não há portas ou vãos continuamente abertos, conforme menciona a NBR 5858 (ABNT, 1983).

O valor de 41.219 kJ/h foi multiplicado por 0,85, referente à região Sudeste, obtendo-se o resultado de 35.036 kJ/h, este valor foi multiplicado por 0,948 para obter a unidade em BTU (CHEN; THOMPSON, 1989; JOHNSON, 2012), totalizando 33.214 BTU.

Calor recebido de:	Unidades			Fatores			Unid.xFator (kJ/h)
	Larg.	Alt.	Total	S/ Proteção	Proteção Interna	Proteção Externa	
I - Janelas c/ insolação							
1.1 - Norte	4,85	1,46	7,081	1.000	480	290	7.081
II - Janelas Transmissão							
2.1 - Vidro comum	4,85	1,46	7,081	210			1.487
III - Paredes				Construção Leve	Construção Pesada		
3.2. Externas outras orientações	5,85	3	10,47	84	50		879
3.3. Interna / ambientes ã cond.	12,25	3	36,75	33			1.213
IV - Teto	Compr.	Larg.	Total				
4.5 - Sob telhado sem isolamento	7,05	5,85	41,24	160			6.599
V - Piso	Compr.	Larg.	Total				
Piso não colocado sobre o solo	0	0	0	52			0
VI - Pessoas							
Em Atividade Normal	36			630			22.680
VII - Iluminação e aparelhos							
Lâmpadas (Fluorescentes)	640		W	2			1.280
SubTotal							41.219
Fato geográfico / Região Sudeste = 0,85							35.036
Carga Térmica Total Btu/h							33.214

Quadro 1 - Cálculo simplificado da carga térmica da sala de aula B18 utilizando a metodologia proposta pela ABNT NBR 5858:1983

3.8. CÁLCULO DA CARGA TÉRMICA UTILIZANDO A ABNT NBR 16401-1:2008

A NBR 6401 (ABNT, 1980, p. 1) que “estabelece as bases fundamentais para a elaboração de projetos de instalações de unidades com capacidade individual a partir de 9000 kcal/h”, ou seja, aproximadamente 40.000 BTU (RESNICK; HALLIDAY; WALKER, 1989), foi substituída pelas NBR 16401-1, 16401-2 e 16401-3, editadas em 2008, conforme pode ser observado no Anexo C.

A NBR 5858 (ABNT, 1983) não faz referência à NBR 6401 (ABNT, 1980) e esta última, apesar de apresentar no item 4 informações sobre cálculo das cargas térmicas, não apresenta nem indica uma metodologia para o cálculo, porém, a NBR 16401-1 (ABNT, 2008a), apresenta no item 6.1.3 (metodologia) que, para o cálculo da carga térmica, exceto para sistemas muito simples, é necessário o auxílio de um programa de computador, menciona que existem vários disponíveis, citando os publicados pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, atualmente o programa de simulação computacional EnergyPlus é o mais recente *software* com esta finalidade publicado por este departamento (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 1999).

A NBR 16401-1 (ABNT, 2008a) informa que o programa deve ser baseado nos métodos da ASHRAE *Transfer Function Method* (TFM) ou, preferivelmente, no método ASHRAE *Radiant Time Series Method* (RTS), que remete, através das referências bibliográficas presente nesta norma, para o capítulo 28 do ASHRAE *Handbook Fundamentals* 1997 (ASHRAE, 1997) e para o capítulo 30 do ASHRAE *Handbook Fundamentals* 2005 (ASHRAE, 2005), estes capítulos são denominados “*nonresidential cooling and load calculations*”. O capítulo 18 do ASHRAE *Handbook Fundamentals* 2009 (ASHRAE, 2009), também intitulado “*nonresidential cooling and heating load calculations*”, que trata do mesmo assunto, estabelece que o método para o cálculo que deve ser utilizado é o RTS. No mesmo capítulo é informado que este método efetivamente substitui os demais, tais como os métodos TFM, *cooling load temperature difference/cooling load factor* (CLTD/CLF) e *the total equivalent temperature difference/time averaging* (TETD/TA).

A NBR 16401-1 (ABNT, 2008a) especifica que os cálculos das cargas térmicas devem ser realizados em quantas horas do dia de projeto forem necessárias para determinar a carga máxima de cada zona.

Alfredo (2011) menciona que é aconselhável que a NBR 16401-1 (ABNT, 2008a) apresente a possibilidade de utilização de planilha para cálculo simplificado da carga térmica onde serão instalados os AAC de janela ou minisplits, citando, como exemplo, a NBR 5858 (ABNT, 1983), que foi cancelada, conforme Anexo B.

Para o cálculo da carga térmica deste trabalho foi utilizado o *software* EnergyPlus 8.1.0.008, porém, para a modelagem da edificação, incluindo suas características de construção, ocupação e funcionamento, utilizou-se a versão de avaliação do *software* DesignBuilder 3.4.0.033 que limita a simulação de, no máximo, 50 zonas para um mesmo projeto. Nos itens seguintes podem ser observadas informações sobre estes *softwares*.

Apesar de ter mencionado no Item 3.3 deste trabalho que serão avaliadas apenas as 12 salas de aula, foi necessário incluir os parâmetros para outras salas no *software* DesignBuilder, pois no cálculo considera-se a interferência de uma zona em outra.

3.8.1. O *software* EnergyPlus

O *software* de simulação computacional EnergyPlus, atualmente na versão 8.1, é um programa computacional gratuito e foi desenvolvido da fusão dos programas *Building Loads Analysis and System Thermodynamics* (BLAST) e *Department of Energy*, EUA (DOE-2), que foram criados no final dos anos 70 para simulação numérica de desempenho energético e dimensionamento de sistemas de climatização, pelo *Lawrence Berkeley National Laboratory* (LBNL), em sociedade com outros laboratórios. Foi uma iniciativa do Departamento de Energia dos Estados Unidos. Assim como os programas BLAST e DOE-2, o EnergyPlus calcula as cargas de resfriamento ou aquecimento para manter as condições ambientais dentro da faixa de conforto térmico (MAZZAFERRO et al., 2013; U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2013).

Segundo Gomes (2012, p. 39) “no EnergyPlus todos os elementos são integrados e controlados pelo Gerenciador de Solução Integrado. A realização dos módulos integrados torna a simulação mais dinâmica e os resultados mais

realísticos”. O Gerenciador de Solução Integrado incorpora três gerenciadores principais conforme Figura 4.

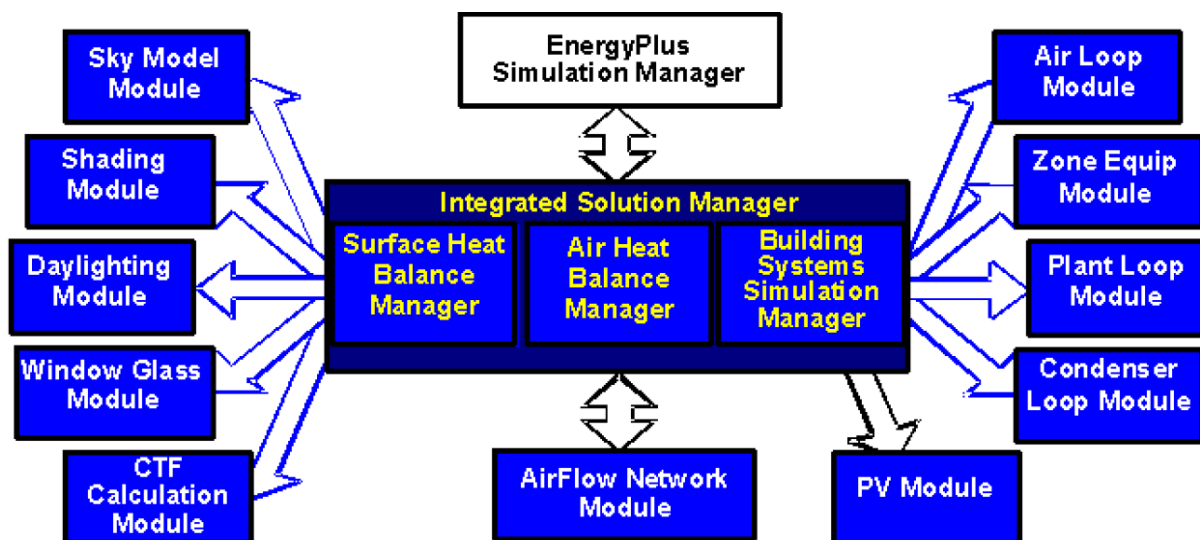


Figura 4 - Módulos do EnergyPlus
 Fonte: U.S. DEPARTMENT OF ENERGY (2013b)

Para o cálculo da carga térmica utilizando o EnergyPlus, exige-se experiência na utilização deste, pois são muitos parâmetros que devem ser adicionados, apesar da inserção destes dados poder ser realizada através de um ambiente gráfico, conforme Figura 5, com explicação e exemplos para cada item a ser inserido no projeto. Para exemplificar, o conteúdo do arquivo com extensão IDF (*Input Data File*) dos blocos B e C, gerado pelo *software* DesignBuilder, após conclusão da modelagem, foi copiado para o *software* Microsoft Word 2013 e apresentou 587 páginas.

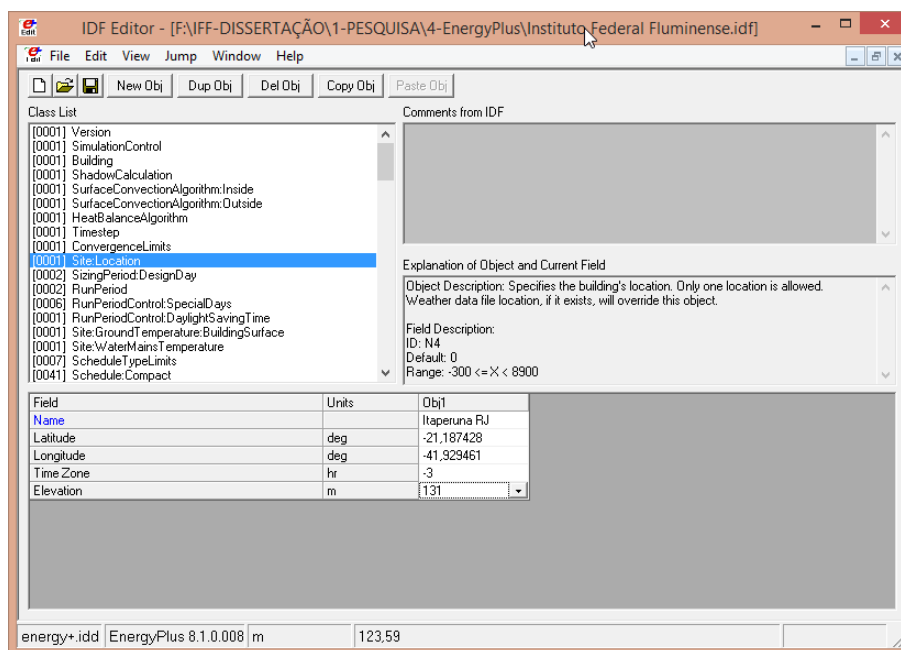


Figura 5 - Tela do EnergyPlus IDF Editor, onde são informados os parâmetros para a simulação

3.8.2. O software DesignBuilder

O software DesignBuilder é uma ferramenta fundamental para a avaliação do comportamento energético de edifícios, visto que permite efetuar simulações muito viáveis, para isso deve-se inserir no software as variáveis, tais como: latitude, longitude e elevação do local do edifício; dimensões do edifício; características do material utilizado na construção das paredes, janelas, portas; temperatura do solo etc. Este software é uma interface gráfica avançada para o software EnergyPlus, que é o responsável pela realização dos cálculos (ALVES, 2011).

O DesignBuilder é um ambiente de modelagem de fácil utilização, com a construção de modelos virtuais. Este software fornece uma série de dados de desempenho ambiental, tais como: consumo de energia, emissões de carbono, condições de conforto, iluminação luz do dia, as temperaturas máximas de verão e dimensionamento de equipamento de aquecimento, ventilação e ar-condicionado (AVAC). Usos típicos do DesignBuilder (2014):

- Cálculo do consumo de energia do edifício;
- Simulação térmica de edifícios naturalmente ventilados;
- Relatório de economia de energia elétrica no sistema de iluminação devido ao uso de luz natural;

- Cálculo de carga térmica para aquecimento e arrefecimento;
- Projeto detalhado de sistema AVAC;
- Relatório de certificação para Reino Unido, Irlanda, França e Portugal;
- Uma ferramenta educacional para o ensino de simulação de construção para estudantes de arquitetura e engenharia.

3.8.2.1. O *layout* do DesignBuilder

A hierarquia de dados ilustrada na Figura 6 é a estrutura dos dados do projeto que consta no Painel de Navegação (Figura 7), que é *menu* presente ao lado esquerdo do *software*, conforme destacado na Figura 8. Ao inserir um dado numa determinada hierarquia, esta alteração será aplicada a todos os níveis abaixo (ALVES, 2011).



Figura 6 - Hierarquia de dados do software DesignBuilder
Fonte: Alves (2011)

Para exemplificar o parágrafo anterior, supondo que se deseja alterar a constituição das paredes de um edifício, ao invés de alterar parede por parede, pode-se alterar na categoria *Block*; se a intenção for alterar as paredes de um único pavimento, caso a intenção seja realizar a alteração em todos os pavimentos, deve-se alterar na categoria *Building*.

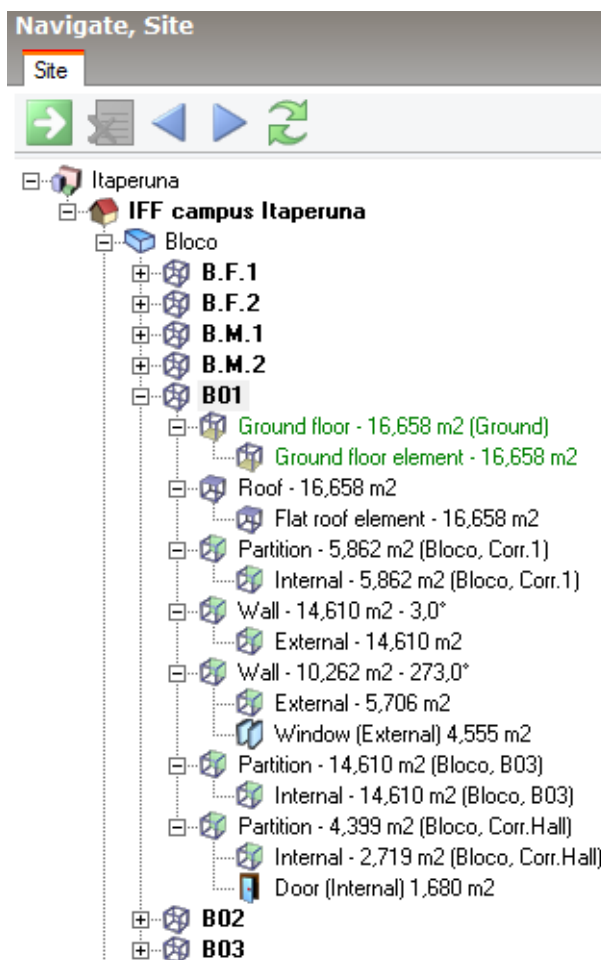


Figura 7 - Painel de navegação do software DesignBuilder, que apresenta a estrutura dos dados inseridos

Na Figura 8 pode-se observar o *layout* geral da janela do DesignBuilder, com a identificação do *menu*, barra de ferramentas, painel de navegação, tela de edição, guia de dados modelo, barra de *status*, guias de tela e painel de informações.

A barra de ferramentas apresentará as ferramentas de acordo com o item selecionado no painel de navegação. Por exemplo, se a categoria *Building* for selecionada será apresentada as ferramentas para criação e visualização do projeto; selecionando na categoria *Surface* uma parede, será apresentada ferramentas para desenhar um vão aberto, porta ou janela.

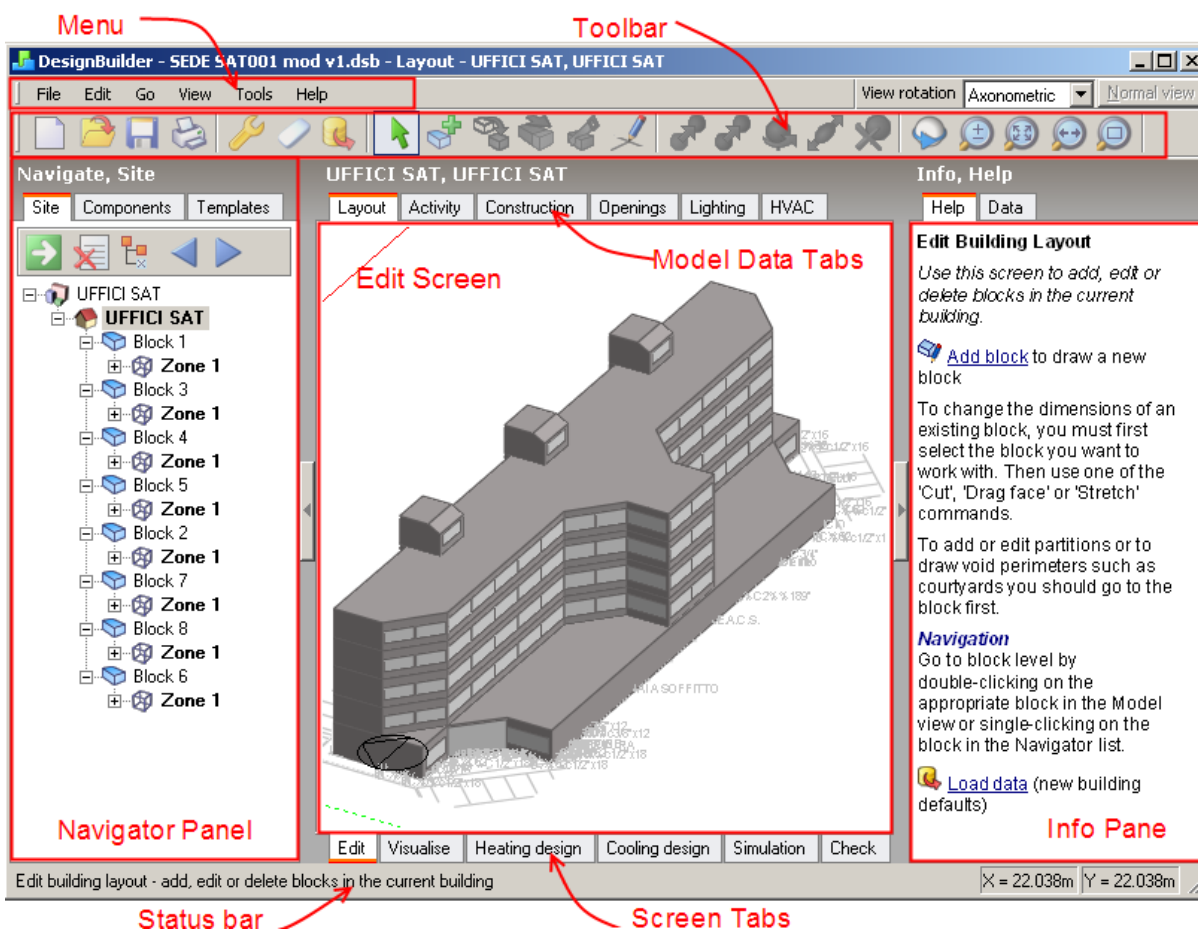


Figura 8 - Tela do software DesignBuilder
Fonte: DesignBuilder (2014)

3.8.2.2. Criando um novo projeto

Foi criado um novo projeto no DesignBuilder, informando um título, a localização e também o tipo de análise que será efetuado, ou seja, EnergyPlus. A Figura 9 apresenta a tela com as informações inseridas. O software apresenta alguns locais cadastrados de vários países, porém, não havia sido cadastrado o município de Itaperuna. O cadastro foi realizado e os dados de latitude, longitude e elevação foram obtidos através do software Google Earth.

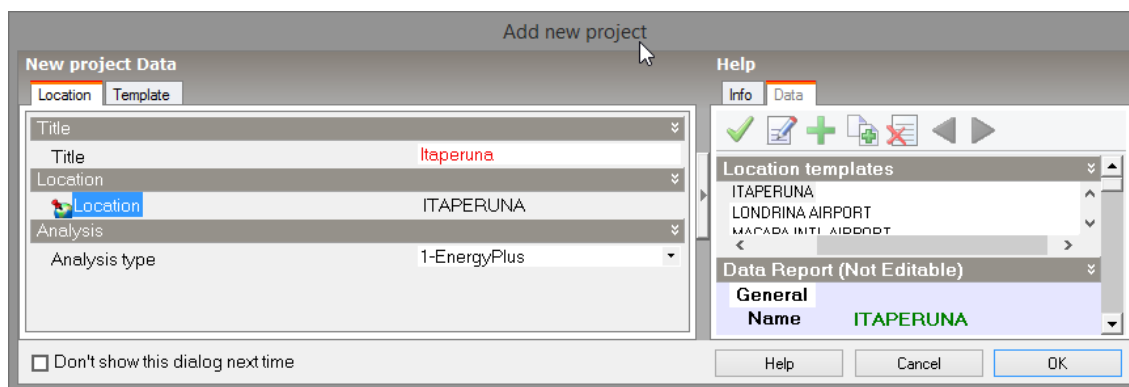


Figura 9 - Tela do software DesignBuilder para criar um novo projeto

Para a simulação o DesignBuilder utiliza um arquivo climático do EnergyPlus, EnergyPlus *Weather File* (EPW), que possui dados de um ano completo, composto por 8760 horas, cada hora contém registrados: temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido, velocidade de vento, direção do vento e outros parâmetros (CARLO; LAMBERTS, 2005). Para o município de Itaperuna não há um arquivo climático disponível no site do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE), da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Conforme mencionado por Carlo e Lamberts (2005), pode-se utilizar um arquivo de outro município que apresenta características parecidas. Desta forma, foi realizado o *download* do arquivo climático do município de Campos dos Goytacazes (RORIZ, 2005) e copiado para a pasta “*Weather Data*” localizada em C:\Program Files\DesignBuilder. Após a criação de um novo projeto, foi criada uma construção através do ícone “*Add new building*” e foi nomeada como IFF *campus* Itaperuna (Figura 10).

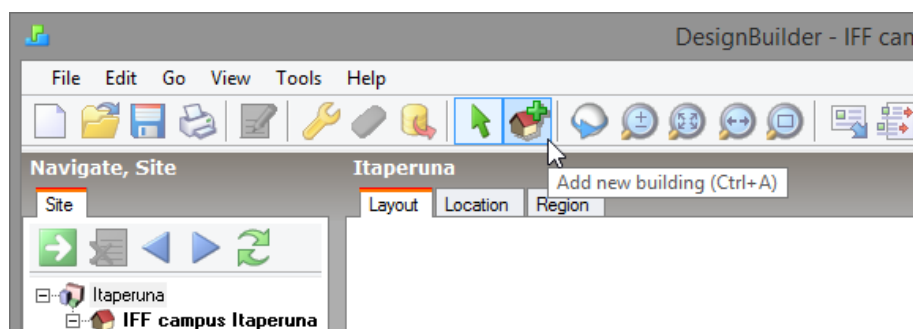


Figura 10 - Tela do software DesignBuilder destacando a opção para criar uma construção

A criação dos blocos B e C ocorreu a partir das informações da planta baixa (Anexo D), porém, como esta planta não está atualizada (pós construção), verificou-se em campo as diferenças apresentadas. As principais foram: tamanhos das janelas e espessura da parede. Como a planta não apresenta todas as cotas necessárias para redesenhá-la no DesignBuilder, realizou-se a medição em campo. A Figura 11 e a Figura 12 apresentam, respectivamente, o *layout* do bloco B e do bloco C. Nos Apêndices A e B pode-se observar os *layouts* dos blocos B e C em 3D, possibilitando a visualização de portas, janelas e vãos.

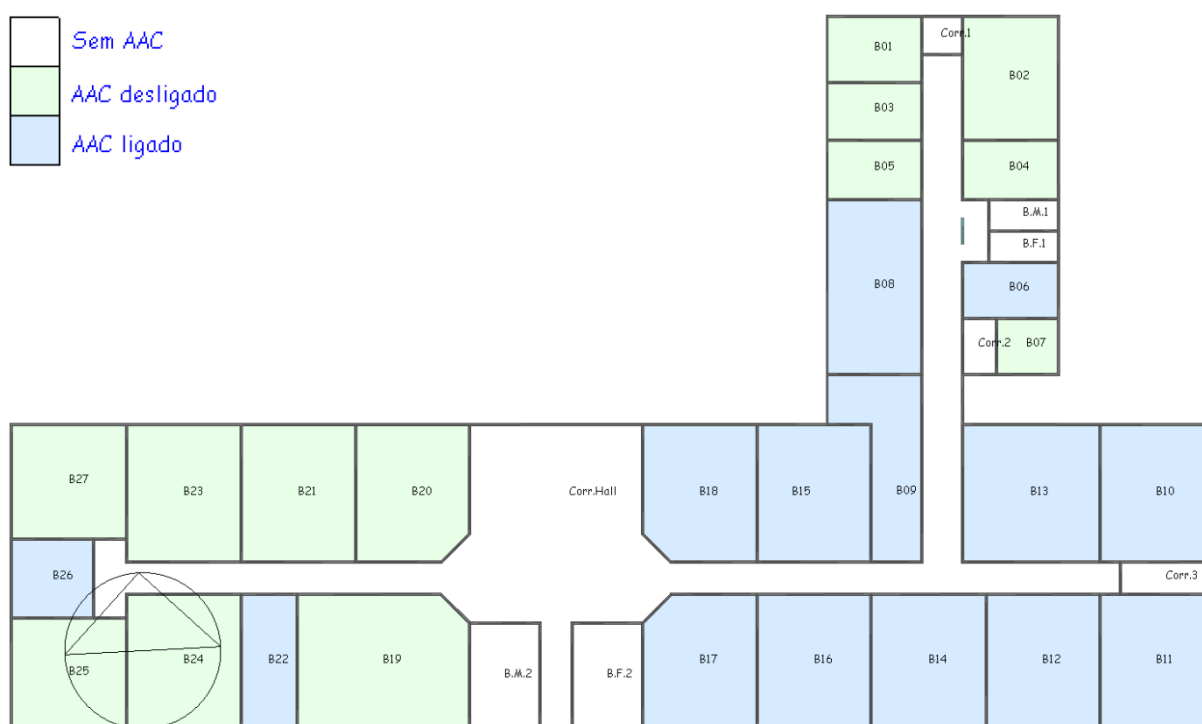


Figura 11 - Layout do bloco B no DesignBuilder, apresentando, em cores diferentes, os ambientes sem AAC, AAC desligado e AAC ligado

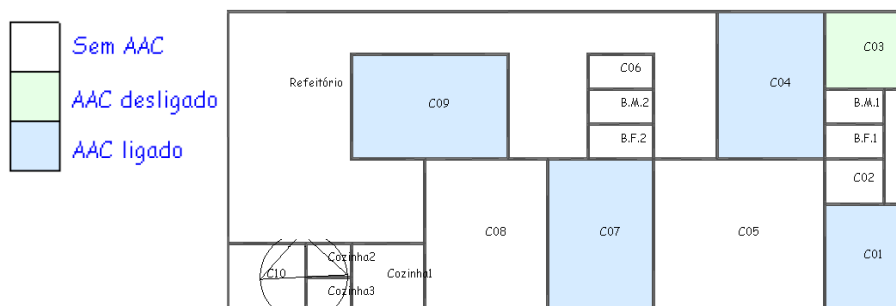


Figura 12 - Layout do bloco C no DesignBuilder, apresentando, em cores diferentes, os ambientes sem AAC, AAC desligado e AAC ligado

Os *layouts* dos blocos B e C foram alterados para reduzir o número de zonas, pois, conforme mencionado no Item 3.8, o *software* DesignBuilder, utilizado nesta simulação, só realiza a simulação de, no máximo, 50 zonas. As alterações não interferem de forma significativa nos cálculos. No bloco B foi removido a parede que dividia o BF1 e o BM1, reduzindo de 35 para 34 zonas. Já no bloco C foi removida a parede que dividia o BF2 e o BM2, e a parede que dividia o BF1 e o BM1. Também foram removidas as paredes que dividiam a sala C10 e as 3 cozinhas, reduzindo de 19 para 14 zonas. São 48 zonas mais 2 zonas (uma por telhado). No Apêndice C pode-se observar os *layouts* dos blocos B e C com as alterações descritas neste parágrafo.

Os *layouts* dos blocos B e C foram criados com a parte superior fechada (laje), e telhado no fomato colonial, nos dois blocos, conforme podem ser visualizados no Apêndices D e E.

Em cada ambiente foram adicionadas portas, janelas e vãos, de acordo com a construção. Por exemplo, na sala B18 foi adiconado uma janela e uma porta, como pode ser visualizado na Figura 13.

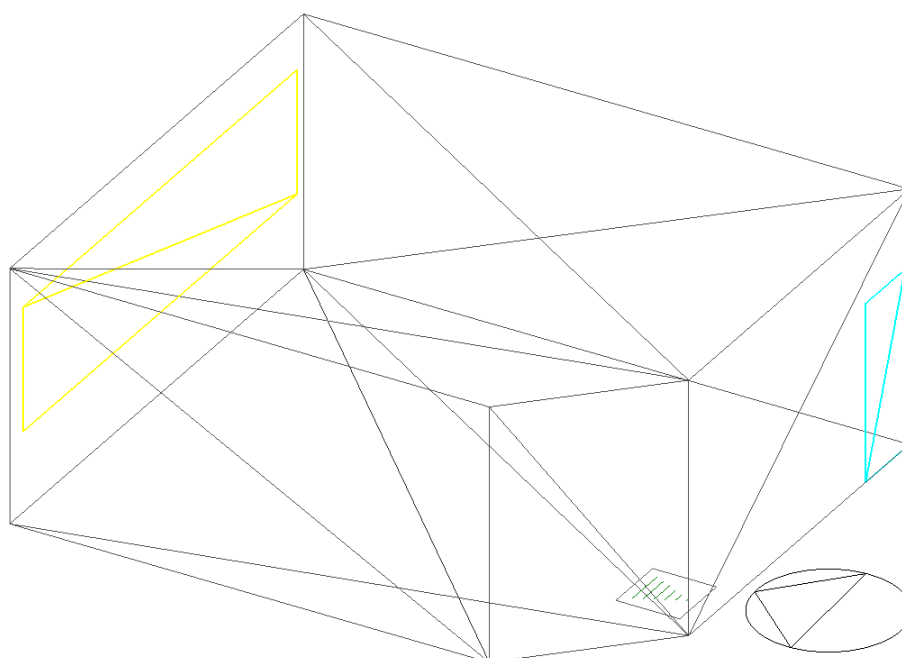


Figura 13 - *Layout* da sala B18, com janela (cor amarela) e porta (cor azul)

No Apêndice F podem ser visualizados vãos (cor verde), para formar as colunas, do refeitório e varandas do bloco C, e também as portas e janelas das salas que são acessadas pelo refeitório e varanda.

3.8.2.3. Inserindo os dados na guia *Activity*

Na guia *Activity* informa-se a ocupação (pessoas por m²), período de ocupação, fator metabólico dos ocupantes, temperatura para resfriamento, iluminação, computadores e outros equipamentos presentes no ambiente. Foram gravados três *templates* (modelos) para esta guia, que são: “Sem AAC”, “AAC ligado” e “AAC desligado”, para cada ambiente selecionou-se um *template* de acordo com a Tabela 4 e Tabela 5, porém, a taxa de ocupação e iluminação foi alterada em cada ambiente, pois apresentam diferenças, sendo igual apenas em algumas salas de aula com a mesma área. Também nesta guia definiu-se uma cor para cada *template*, estas cores podem ser observadas na Figura 11 e na Figura 12. Os ambientes com “AAC desligado” não constam na Tabela 4 e na Tabela 5, pois estão sem ocupação e os equipamentos e iluminação estão desligados. No bloco B os ambientes “Sem AAC” foram mantidos, porém, foi considerado a ocupação apenas do ambiente corredores/*hall* (Corr.Hall), pois, os outros: corredor 1 (Corr.1), corredor 2 (Corr.2) e corredor 3 (Corr.3), que são uma extensão do ambiente corredores/*hall*, possuem área pequena. Também foram mantidos os ambientes: refeitório, sala C10 e cozinhas no bloco C. Na área do ambiente refeitório está incluído toda extensão da varanda defronte às salas C04, C05, C06, C07, C08, C09 e banheiros.

A utilização do valor de 300 lux foi baseada na NBR 5413 (ABNT, 1992, p. 1) que “estabelece os valores de iluminâncias médias mínimas em serviço para iluminação artificial em interiores, onde se realizem atividades de comércio, indústria, ensino, esporte e outras”. Para cada ambiente, esta norma apresenta três valores de iluminância, porém, no item 5.2.4.1, pede-se para “considerar o valor do meio, devendo este ser utilizado em todos os dados” (ABNT, 1992, p. 3), e nos itens 5.2.4.2 e 5.2.4.3 apresentam detalhes, respectivamente, de quando utilizar o valor mais alto e mais baixo. No item 5.3.13 (Escolas) apresenta os valores 200 - 300 - 500 para salas de aula.

Tabela 4 - Templates, área, ocupação, equipamentos e iluminação das salas do bloco B

Ambientes	Template	Área (m ²)	Pessoas	Pessoas/m ²	Equipamentos (W/m ²)	Iluminação	
						Lux	W/m ²
B06	AAC ligado	14,62	3	0,21	-	300	22
B08	AAC ligado	44,52	10	0,22	19	300	16
B09	AAC ligado	31,68	3	0,09	60	300	8
B10	AAC ligado	42,12	36	0,85	-	300	13
B11	AAC ligado	42,12	36	0,85	-	300	13
B12	AAC ligado	42,14	36	0,85	-	300	15
B13	AAC ligado	51,15	36	0,70	-	300	16
B14	AAC ligado	42,83	36	0,84	-	300	15
B15	AAC ligado	42,72	36	0,84	-	300	15
B16	AAC ligado	42,56	36	0,85	-	300	15
B17	AAC ligado	41,47	36	0,87	-	300	14
B18	AAC ligado	41,47	36	0,87	-	300	15
B22	AAC ligado	20,88	15	0,72	72	300	11
B26	AAC ligado	17,64	3	0,17	120	300	9
Corr.1	Sem AAC	4,14	-	-	-	-	-
Corr.2	Sem AAC	5,10	-	-	-	-	-
Corr.3	Sem AAC	8,15	-	-	-	-	-
Corr.Hall	Sem AAC	246,67	20	0,08	-	-	-

Tabela 5 - Templates, área, ocupação, equipamentos e iluminação das salas do bloco C

Ambientes	Template	Área (m ²)	Pessoas	Pessoas/m ²	Equipamentos (W/m ²)	Iluminação	
						Lux	W/m ²
C01	AAC ligado	21,00	1	0,05	47	-	11
C02	Sem AAC	6,56	-	-	-	-	-
C03	AAC desligado	14,92	2	0,13	-	-	-
C04	AAC ligado	39,21	36	0,92	-	300	16
C05	Sem AAC	63,18	-	-	-	-	-
C06	Sem AAC	5,44	-	-	-	-	-
C07	AAC ligado	38,96	36	0,92	-	300	16
C08	Sem AAC	45,67	-	-	-	-	-
C09	AAC ligado	39,96	36	0,90	-	300	18
C10 e cozinhas	Sem AAC	12,62	2	0,16	-	-	-
Refeitório	Sem AAC	157,05	30	0,19	-	-	-

Na Figura 14 pode-se visualizar os parâmetros informados na guia *Activity* para a sala B18. Para o item metabolismo foi utilizado o *template Standing/walking* que apresenta o valor da taxa típica de calor liberado por pessoas de 140 W, sendo o mesmo valor apresentado na NBR 16401-1 (ABNT, 2008a) e utilizado o fator (*factor*) 0,90, que é o valor médio entre os valores indicados para homens e

mulheres, visto que nas salas de aula possuem pessoas de ambos os sexos. Para a roupa (*clothing*) foram utilizados os valores 1,0 clo e 0,5 clo, que representam, respectivamente, roupas típicas para o inverno e roupas típicas para o verão (ABNT, 2008b). “O tipo de roupa usado pelas pessoas, que determina a resistência térmica média à troca de calor do corpo com o ambiente, expressa em “clo” (1 clo = 0,155 m² K/W)” (ABNT, 2008b).

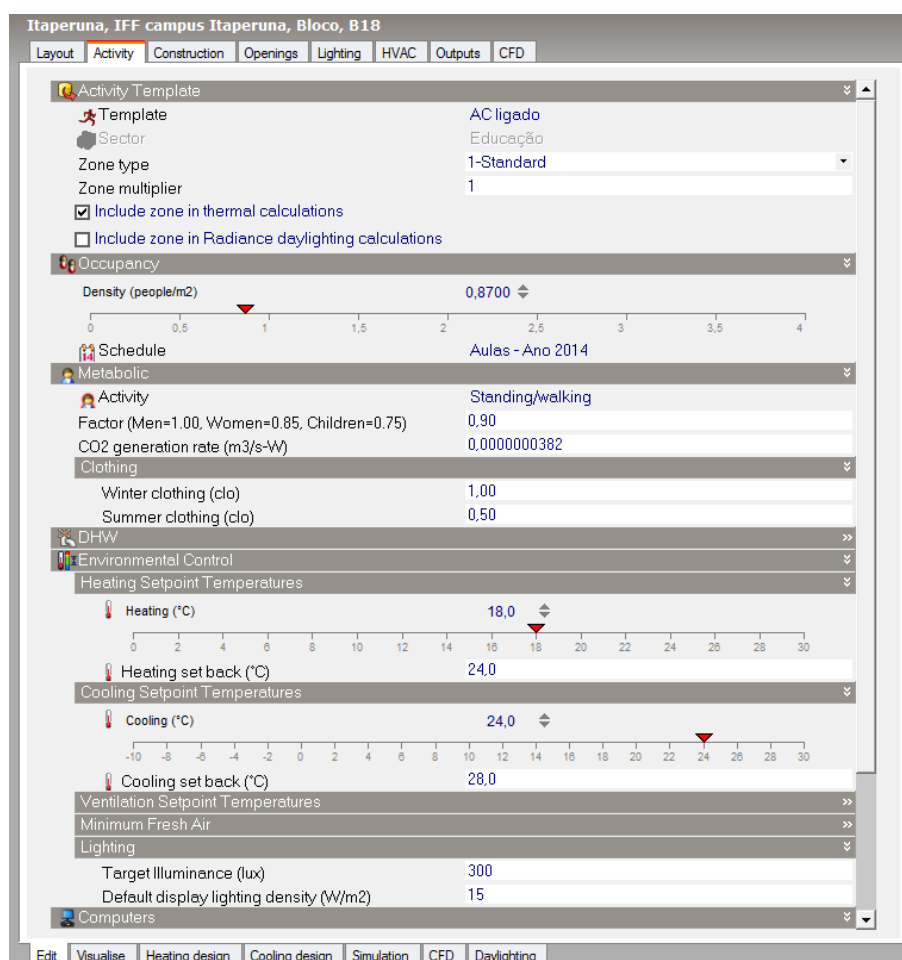


Figura 14 - Tela do software DesignBuilder, guia *Activity*, onde se configurou a taxa de ocupação, metabolismo, vestuário e a temperatura de resfriamento requerida para a sala B18

3.8.2.4. Inserindo os dados na guia *Construction*

Na guia *Construction* são informados os elementos utilizados na construção, tais como: parede externa e interna, telhado plano, telhado inclinado, andar térreo, piso externo, piso interno, porta externa, interna etc.

Criou-se o *template* Construção e nele alterado os elementos que compõem a construção, os parâmetros utilizados para os materiais foram baseados na NBR 15220-2 (ABNT, 2003). Na Tabela 6 pode-se visualizar informações detalhadas dos materiais utilizados para a parede, enquanto que na Figura 15 observam-se os materiais que compõem a estrutura da parede (gravado um *template*) e na Figura 16 pode-se visualizar a inserção das características técnicas dos materiais.

Tabela 6 - Características dos materiais das paredes, parâmetros fornecidos pela ABNT NBR 15220-2:2003

Material	Espessura (m)	λ (W/m.K)	ρ (kg/m ³)	c (J/kg.K)
Argamassa comum	0,02	1,150	1950	1000
Tijolo	0,09	0,900	1450	920

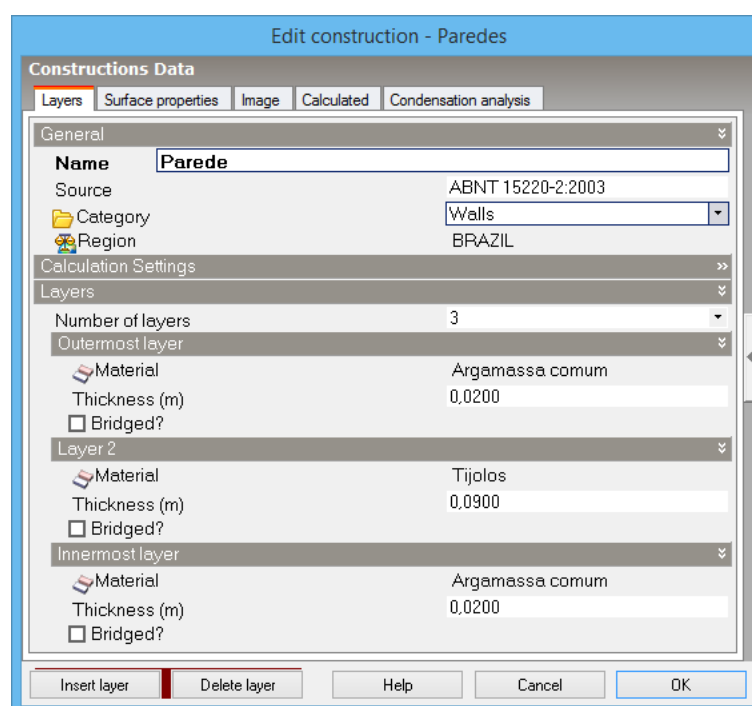


Figura 15 - Tela do software DesignBuilder, janela de edição das características das paredes, utilizando os parâmetros fornecidos pela ABNT NBR 15220-2:2003

Na Figura 17 pode-se visualizar os parâmetros informados na guia *Construction* para o bloco B.

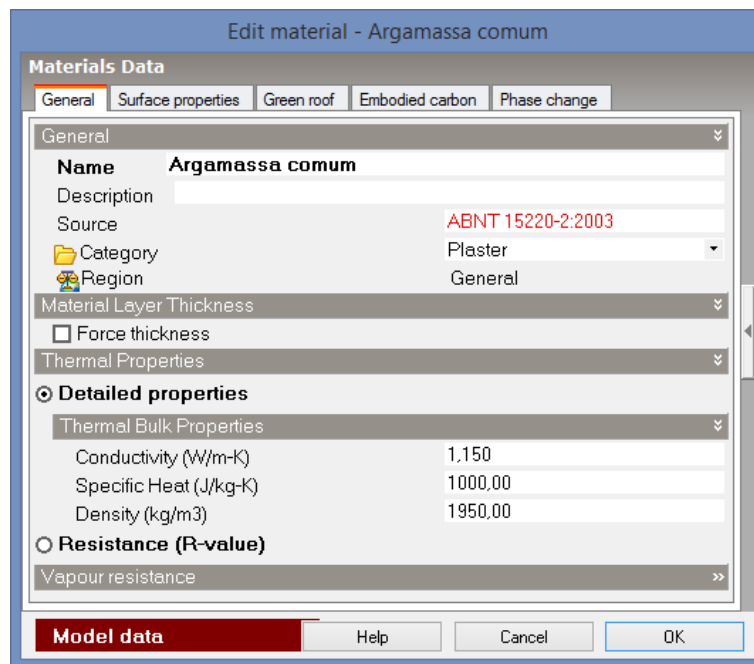


Figura 16 - Inserção das características dos materiais, utilizando os parâmetros fornecidos pela ABNT NBR 15220-2:2003

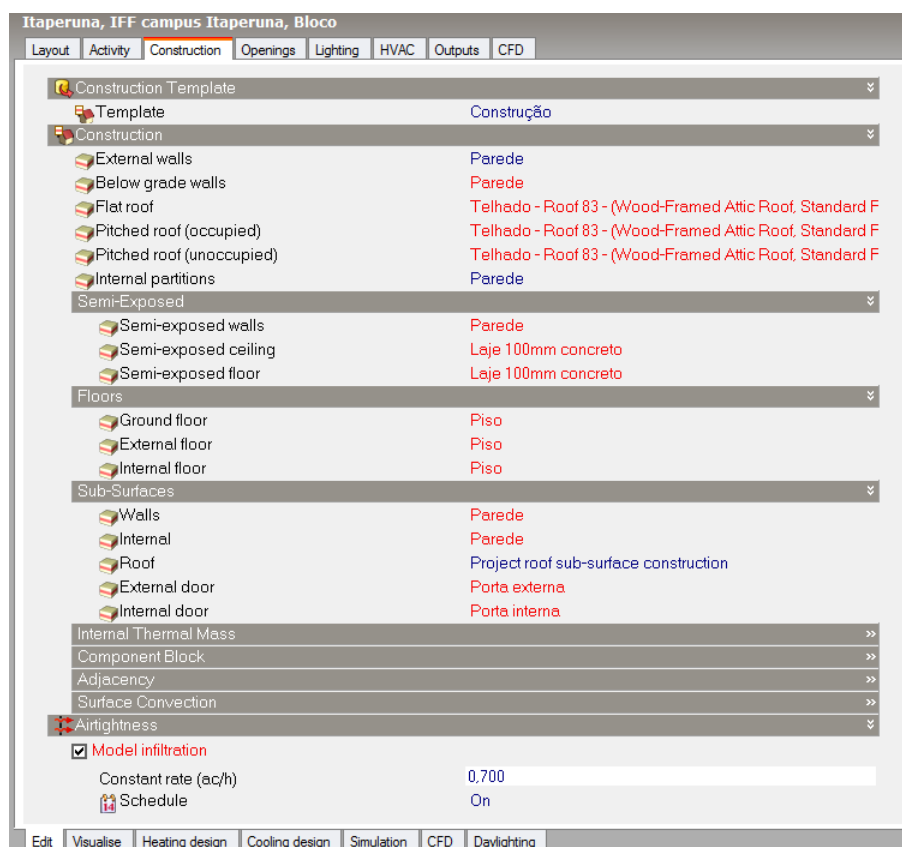


Figura 17 - Tela do software Designbuilder, guia *Construction*, mostrando os aspectos dos materiais usados na construção do bloco B. Nesta etapa o programa detalha características do piso, das paredes, do telhado e das portas.

3.8.2.5. Inserindo os dados na guia *Openings*

Na guia *Openings* informam-se as características das portas e janelas utilizadas na construção. As características das janelas foram informadas conforme detalhes disponíveis na Figura 18 e na Figura 19.

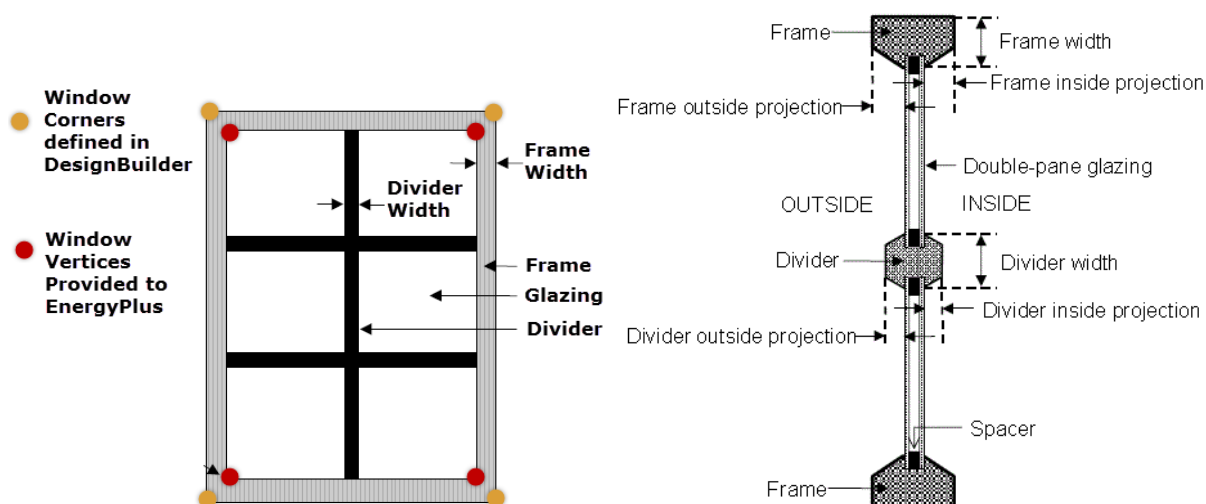


Figura 18 - Detalhes das janelas para serem informados na guia *Openings*, incluindo os detalhes das molduras e divisórias

Fonte: DesignBuilder (2014); U.S. Department of Energy (2013a)

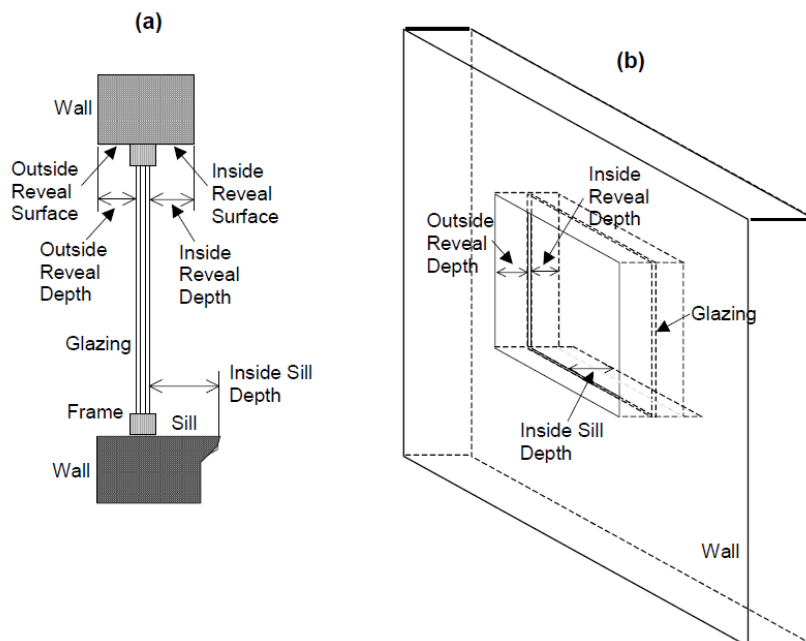


Figura 19 - Detalhes das janelas para serem informados na guia *Openings*

Fonte: U.S. Department of Energy (2013a)

Criou-se o *template* Janelas e nele são alterados os elementos que compõem a janela, também criado o *template* “Vidro simples 3 mm” com os parâmetros baseados na NBR 15220-2 (ABNT, 2003).

Modelou-se cada janela de acordo com suas dimensões obtidas em campo. As portas de vidro também foram modeladas como se fossem janelas, conforme menciona o manual do *software* DesignBuilder (2014), porém, as características foram alteradas, por exemplo, a espessura do vidro passou a ser 6 mm. Na Figura 20 pode-se visualizar os parâmetros informados na guia *Openings* para a sala B18.

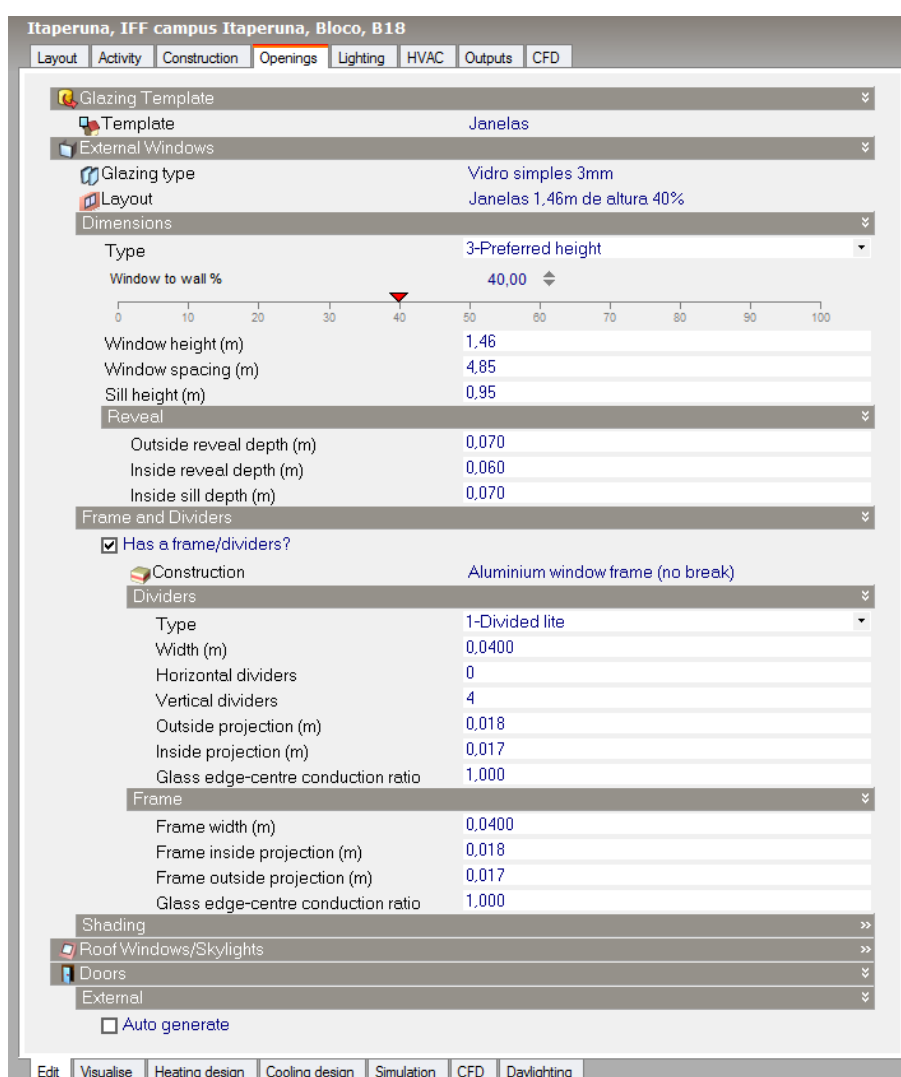


Figura 20 - Tela do *software* Designbuilder, guia *Openings*, onde se configurou os detalhes construtivos das janelas da sala B18

3.8.2.6. Inserindo os dados na guia *Lighting*

Na guia *Lighting* são informadas as características da iluminação, utilizando o *template* “T8 (25mm diam) fluorescente” disponível no *software* e alteradas algumas características, tais como: *lighting energy* (W/m²-100lux) e *luminaire type*. Os valores de *radiante fraction* e *visible fraction* atribuídos automaticamente de acordo com tipo de luminária selecionada. Na Figura 21 pode-se visualizar os tipos de luminárias.

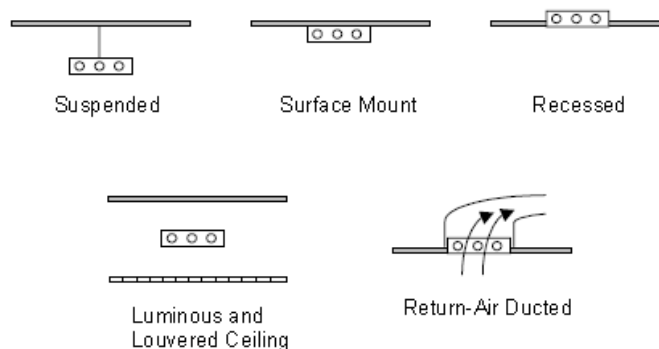


Figura 21 - Tipos de luminárias disponíveis para serem utilizadas no *software* DesignBuilder
 Fonte: DesignBuilder (2014)

Na Figura 22 pode-se visualizar os parâmetros informados na guia *Lighting* para a sala B18.

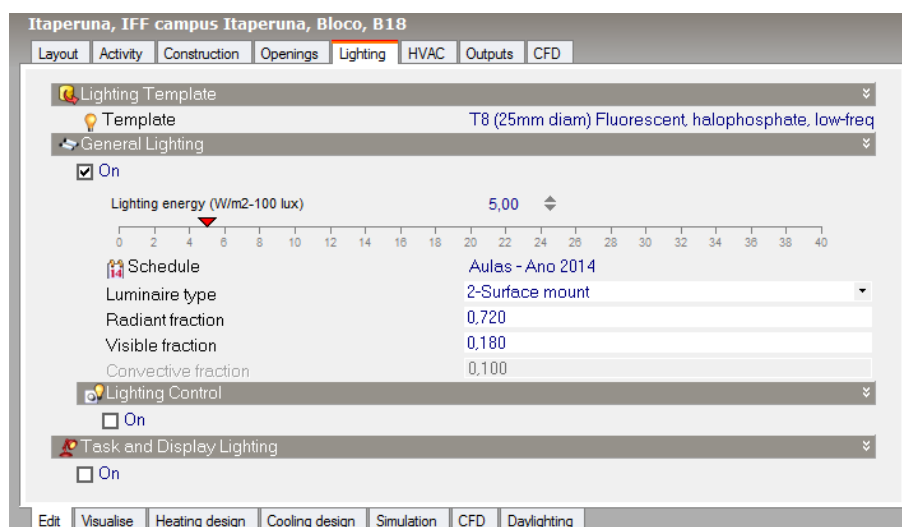


Figura 22 - Tela do *software* DesignBuilder, guia *Lighting*, onde se configurou o sistema de iluminação da sala B18

3.8.2.7. Inserindo os dados na guia HVAC

Na guia HVAC informaram-se as características do sistema de climatização, desta forma criou-se o *template* Split.

Na Figura 23 pode-se visualizar os parâmetros informados na guia HVAC para a sala B18.

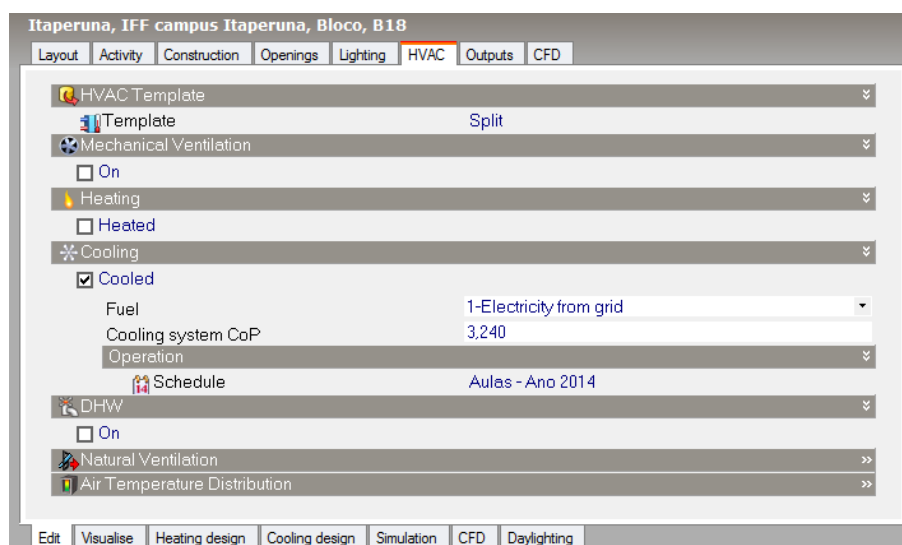


Figura 23 - Tela do software DesignBuilder, guia HVAC, onde se configurou o AAC para a sala B18

3.8.2.8. Processando a simulação

Para iniciar a simulação é necessário clicar na guia "*Cooling design*" do software, conforme pode-se observar na Figura 8. Ao clicar nesta opção será apresentada uma janela para inserção dos dados para a simulação, a Figura 24 apresenta os parâmetros informados. Para o parâmetro "*design margin*" informou-se o valor "1,15", este parâmetro refere-se a 15% de sobredimensionamento recomendado pela ASHRAE (DESIGNBUILDER, 2014). Realizou-se a simulação referente ao dia 03 de março de 2002.

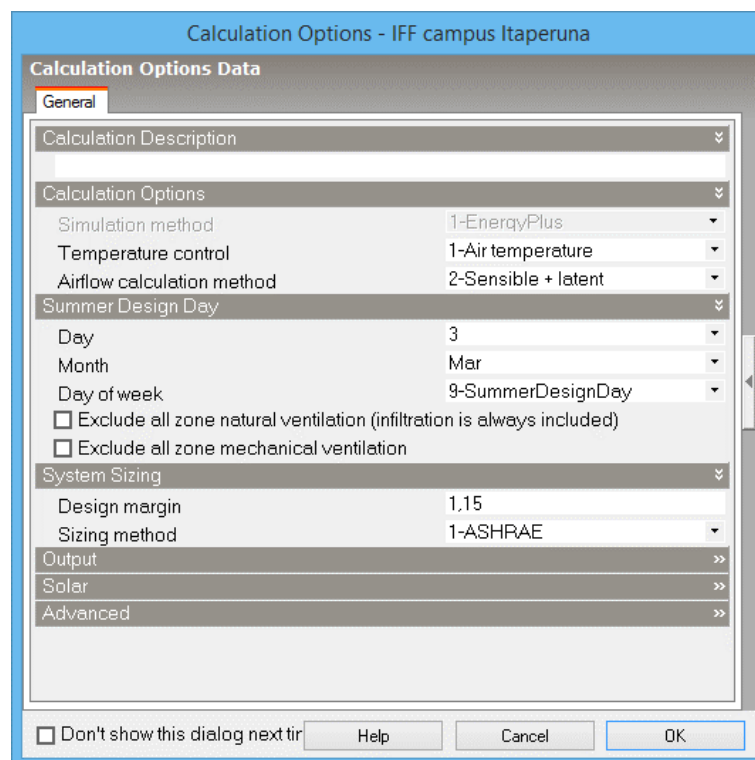


Figura 24 - Tela do software DesignBuilder, com os parâmetros para iniciar a simulação

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. APARELHOS DE AR-CONDICIONADO INSTALADOS

A Tabela 7 mostra a relação dos AAC das salas de aula dos blocos B e C do IFF *campus* Itaperuna. Pode-se observar que dez dos doze AAC estão na faixa de classificação energética D (INMETRO, 2013a). Esta faixa de classificação se refere ao Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), que são selos que categorizam os aparelhos eletrodomésticos de acordo com sua eficiência energética (INMETRO, 2013d). Pela tabela verifica-se que nas salas de aula C04 e C09 os AAC apresentam a maior eficiência energética (classificação energética A) (INMETRO, 2013d).

Tabela 7 - Relação dos AAC das salas de aula dos blocos B e C do IFF *campus* Itaperuna, indicando sua capacidade de refrigeração, potência elétrica, eficiência energética e classificação energética

Sala	Marca/Modelo	Capacidade de refrigeração		Potência elétrica (W)	CEE (W/W)	Classificação energética
		BTU	W			
B10	Springer Maxiflex	22.000	6.446	2.474	2,61	D
B11	Springer Maxiflex	22.000	6.446	2.474	2,61	D
B12	Springer Maxiflex	22.000	6.446	2.474	2,61	D
B13	Springer Maxiflex	22.000	6.446	2.474	2,61	D
B14	Springer Maxiflex	22.000	6.446	2.474	2,61	D
B15	Springer Maxiflex	22.000	6.446	2.474	2,61	D
B16	Midea	18.000	5.274	1.954	2,70	D
B17	Springer Maxiflex	22.000	6.446	2.474	2,61	D
B18	Springer Maxiflex	22.000	6.446	2.474	2,61	D
C04	Gree	24.000	7.032	2.190	3,21	A
C07	Springer Maxiflex	22.000	6.446	2.474	2,61	D
C09	Gree	24.000	7.032	2.190	3,21	A

4.2. OCUPAÇÃO DAS SALAS DE AULA DE ACORDO COM OS AAC INSTALADOS

Como a substituição dos AAC das salas de aula é uma prática pouco viável, pois incorrerá em custos, uma alternativa seria redistribuir as turmas de acordo com a capacidade térmica instalada, conforme proposta na Tabela 8. A redistribuição deve-se ao fato que as turmas dos módulos seguintes apresentam menor número de alunos, principalmente no período noturno.

Conforme podemos observar na Tabela 8 a sala de aula C09 possui a maior capacidade de lotação (25) atendendo aos parâmetros de conforto térmico, enquanto a sala de aula B16 possui a menor lotação, justificando a substituição do AAC, já que o número de apenas 6 pessoas na sala seria inviável na prática.

Tabela 8 - Lotação sugerida para as salas de aula

Sala	Marca/Modelo	Instalada (BTU)	Lotação Sugerida
B10	Springer Maxiflex	22.000	14
B11	Springer Maxiflex	22.000	14
B12	Springer Maxiflex	22.000	15
B13	Springer Maxiflex	22.000	15
B14	Springer Maxiflex	22.000	15
B15	Springer Maxiflex	22.000	19
B16	Midea	18.000	6
B17	Springer Maxiflex	22.000	14
B18	Springer Maxiflex	22.000	14
C04	Gree	24.000	19
C07	Springer Maxiflex	22.000	19
C09	Gree	24.000	25

4.3. CARGA TÉRMICA DE RESFRIAMENTO CALCULADA COM BASE NA NBR 5858:1983

A Tabela 9 mostra a carga térmica de resfriamento calculada para cada sala de aula seguindo a metodologia informada no Item 3.7 deste trabalho. A carga térmica de todas as salas de aula é maior que a carga térmica atualmente instalada.

Tabela 9 - Relação das cargas térmicas de resfriamento das salas de aula dos blocos B e C do IFF *campus* Itaperuna calculada com base na ABNT NBR 5858:1983

Sala	Capacidade de refrigeração (BTU)
B10	33.352
B11	33.096
B12	32.324
B13	32.221
B14	32.440
B15	30.458
B16	33.213
B17	33.035
B18	33.214
C04	32.735
C07	30.739
C09	29.646

4.4. CÁLCULO DA CARGA TÉRMICA COM BASE NA ABNT NBR 16401-1:2008

A Tabela 10 mostra a carga térmica de resfriamento calculada para cada sala de aula seguindo a metodologia informada no Item 3.8 deste trabalho. O cálculo foi realizado para o dia 03 de março de 2002, pois, foi o dia com a maior temperatura registrada no arquivo climático do município de Campos dos Goytacazes, utilizado para a simulação para o IFF *campus* Itaperuna, conforme pode ser visualizado no Anexo E. No dia indicado, o horário de pico da carga térmica para todas salas de aula foi a partir das 14 h, inclusive a sala B10, que tem uma de suas paredes voltada para o leste e sem janelas (Apêndice A). Na Figura 25 pode-se observar o sombreamento causado pelo sol nos blocos B e C às 16 h.



Figura 25 - Imagem 3D do sombreamento dos blocos B (fachada sul) e C (fachada oeste) às 16 h

Tabela 10 - Relação das cargas térmicas de resfriamento das salas de aula dos blocos B e C do IFF campus Itaperuna calculada com base na ABNT NBR 16401-1:2008

Sala	Capacidade de refrigeração (BTU)	Horário de pico da carga térmica
B10	34.778	14h00
B11	35.325	14h00
B12	32.799	14h30
B13	33.925	15h30
B14	32.560	15h30
B15	31.434	15h00
B16	32.731	15h00
B17	32.833	15h30
B18	32.594	15h30
C04	29.693	15h00
C07	29.932	15h00
C09	31.673	16h00

4.5. COMPARATIVO DOS RESULTADOS

Observa-se na Figura 26 que nenhum AAC foi corretamente dimensionado para atender o conforto térmico, com base na ABNT NBR 5858:1983 e na ABNT NBR 16401-1:2008. A sala de aula B16 possui um AAC de 18.000 BTU, enquanto que a carga térmica necessária para o conforto térmico deste ambiente é de 33.213 BTU ou de 32.731 BTU, segundo as metodologias da ABNT NBR 5858:1983 e ABNT NBR 16401-1:2008, respectivamente.

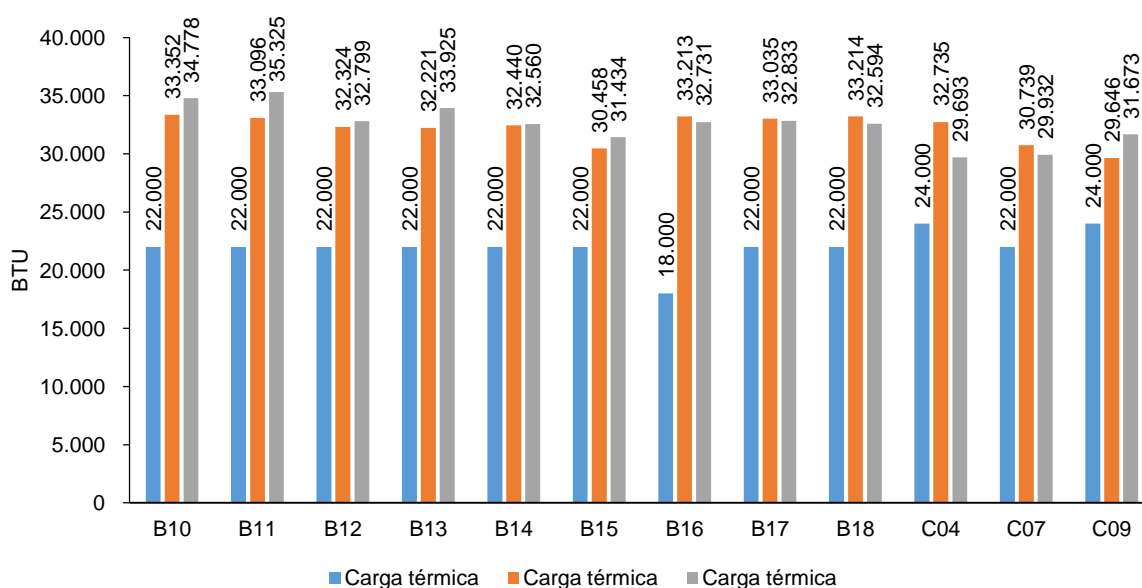


Figura 26 - Comparativo entre a carga térmica instalada, carga térmica calculada pela metodologia da ABNT NBR 5858:1983 e carga térmica calculada pela metodologia da ABNT NBR 16401-1:2008

Na Figura 27 pode-se observar a diferença entre a carga térmica instalada em relação às cargas térmicas calculadas pela ABNT NBR 5858:1983 e pela ABNT NBR 16401-1:2008. Em todas as salas de aula a diferença da carga térmica calculada é maior ou igual a 24%. A sala de aula C04 possui a menor diferença, 24% (ABNT NBR 16401-1:2008), porém, possui 36% comparada à carga térmica calculada pela ABNT NBR 5858:1983. Já a sala de aula C09 possui a menor diferença, 24% (ABNT NBR 5858:1983), porém, possui 32% comparada à carga térmica calculada pela ABNT NBR 16401-1:2008. Na sala de aula B16 foi a que apresentou maior diferença, ou seja, 85% (ABNT NBR 5858:1983) e 82% (ABNT NBR 16401-1:2008).

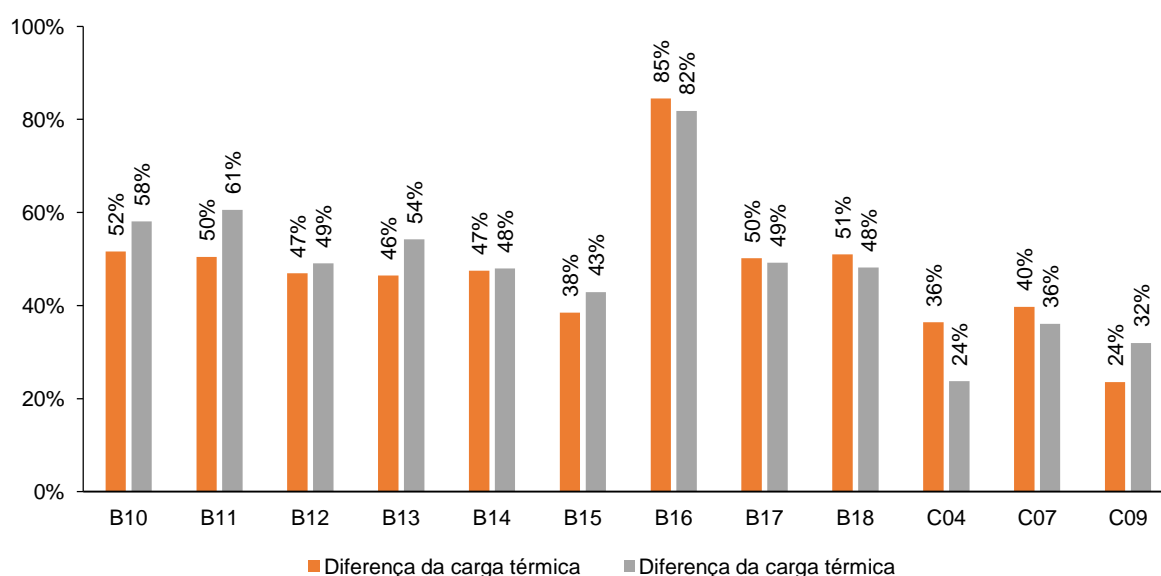


Figura 27 - Diferença entre a carga térmica calculada pela metodologia da ABNT NBR 5858:1983 e a carga térmica instalada e a diferença entre a carga térmica calculada pela metodologia da ABNT NBR 16401-1:2008 e a carga térmica instalada

A Tabela 11 e a Figura 28 apresentam a diferença entre a carga térmica calculada pela ABNT NBR 5858:1983 e a carga térmica calculada pela ABNT NBR 16401-1:2008. Pode-se observar que em 7 salas de aula a carga térmica calculada pela ABNT NBR 16401-1:2008 foi maior que e a carga térmica calculada pela ABNT NBR 5858:1983. Nas salas de aula B12, B14, B16, B17, B18 e C07 a diferença dos resultados da carga térmica é menor que 3%. A maior diferença foi para a sala de aula C04, com 10,24%. A carga térmica calculada através da ABNT NBR 16401-1:2008 ficou em média 0,82% maior que a carga térmica calculada pela ABNT NBR 5858:1983.

Tabela 11 - Carga térmica calculada pela metodologia da ABNT NBR 5858:1983, carga térmica calculada pela metodologia da ABNT NBR 16401-1:2008 e a diferença entre elas

Sala	Capacidade de refrigeração (BTU)		Diferença
	NBR 5858	NBR 16401-1	
B10	33.352	34.778	4,10%
B11	33.096	35.325	6,31%
B12	32.324	32.799	1,45%
B13	32.221	33.925	5,02%
B14	32.440	32.560	0,37%
B15	30.458	31.434	3,10%
B16	33.213	32.731	-1,47%
B17	33.035	32.833	-0,62%
B18	33.214	32.594	-1,90%
C04	32.735	29.693	-10,24%
C07	30.739	29.932	-2,70%
C09	29.646	31.673	6,40%

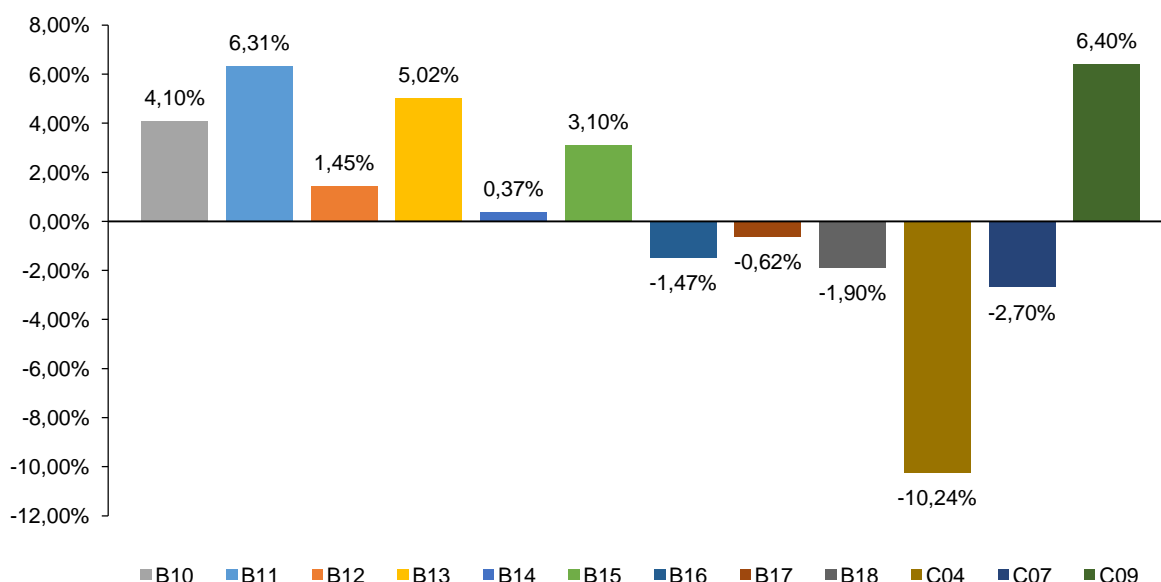


Figura 28 - Diferença entre a carga térmica calculada pela metodologia da ABNT NBR 5858:1983 e a carga térmica calculada pela metodologia da ABNT NBR 16401-1:2008

4.6. AAC ADEQUADOS PARA CADA SALA DE AULA

Considerando a capacidade dos AAC atualmente comercializados no Brasil e listados no site INMETRO (2013a), a Tabela 12 apresenta a carga térmica do aparelho igual ou superior a carga calculada utilizando a metodologia da ABNT NBR 16401-1:2008, porém, o que se pode observar é que o aparelho de 36.000 BTU tem

classificação energética E, ou seja, é menos eficiente INMETRO (2013b), só há disponível na lista do INMETRO apenas um modelo de aparelho desta capacidade.

Na mesma lista mencionada no parágrafo anterior há 55 modelos de aparelhos com 30.000 BTU, na Figura 29 pode-se observar o número de AAC com sua respectiva classificação energética. Sendo a carga térmica média calculada para as salas de aula de aproximadamente 32.523 BTU, sugere-se a utilização dos aparelhos de 30.000 BTU, com classificação energética A em todas salas de aula, que será o mesmo modelo do indicado para as salas de aula C04 e C07, pois possuem maior eficiência energética (INMETRO, 2013b), o CEE deste aparelho é 3,24, enquanto que o CEE do aparelho de 36.000 BTU é de 2,60. A diferença da capacidade de refrigeração entre um AAC de 36.000 e 30.000 BTU é 20%, porém, a diferença do consumo de energia elétrica é maior que 70%.

Tabela 12 - Relação de AAC para as salas de aula com capacidade de resfriamento igual ou superior à calculada utilizando a metodologia da ABNT NBR 16401-1:2008

Sala	Capacidade de refrigeração		Classificação energética	Potência elétrica (W)	Capacidade superior a calculada
	Calculada	Sugerida			
B10	34.778	36.000	E	4.219	3,39%
B11	35.325	36.000	E	4.219	1,88%
B12	32.799	36.000	E	4.219	8,89%
B13	33.925	36.000	E	4.219	5,76%
B14	32.560	36.000	E	4.219	9,56%
B15	31.434	36.000	E	4.219	12,68%
B16	32.731	36.000	E	4.219	9,08%
B17	32.833	36.000	E	4.219	8,80%
B18	32.594	36.000	E	4.219	9,46%
C04	29.693	30.000	A	2.712	1,02%
C07	29.932	30.000	A	2.712	0,23%
C09	31.673	36.000	E	4.219	12,02%

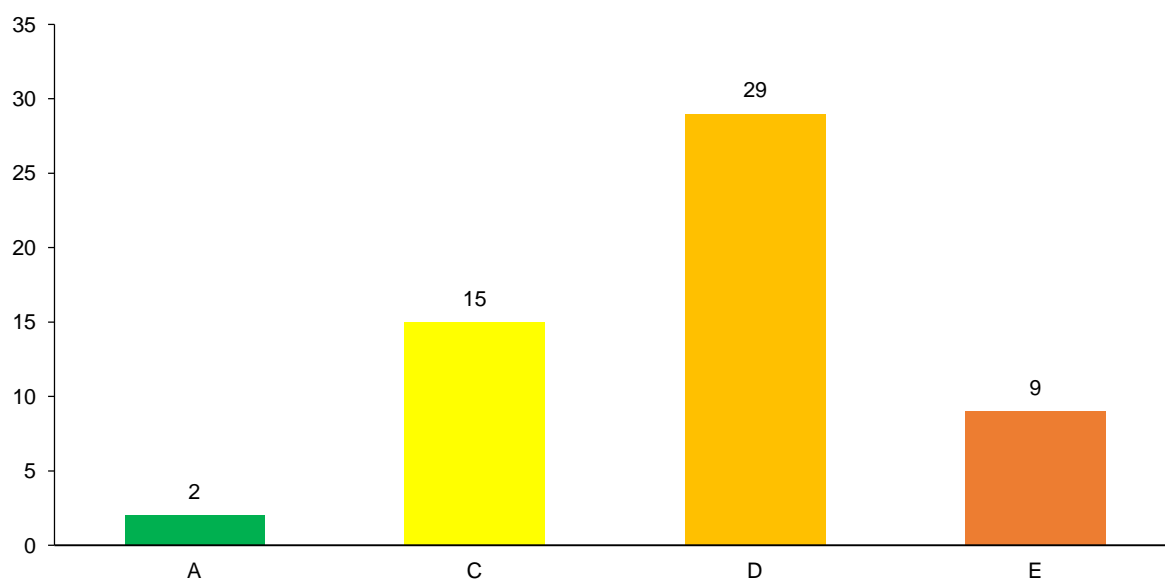


Figura 29 - Classificação energética dos AAC de 30.000 BTU disponíveis na lista do INMETRO

Na Tabela 13 e na Figura 30 podem-se observar a relação dos AAC que apresentam maior eficiência energética sugeridos para as salas de aula. A capacidade inferior à calculada é, na média, 8,41%. Como a carga térmica calculada utilizando a metodologia da ABNT NBR 16401-1:2008 é baseada na metodologia da ASHRAE, o valor final está acrescido de 15%, conforme mencionado no Item 3.8.2.8.

Tabela 13 - Relação de AAC com maior eficiência energética para as salas de aula

Sala	Capacidade calculada (BTU)	Capacidade do aparelho adequado (BTU)	Classificação energética	Potência elétrica (W)	Capacidade inferior a calculada
B10	34.778	30.000	A	2.712	-15,93%
B11	35.325	30.000	A	2.712	-17,75%
B12	32.799	30.000	A	2.712	-9,33%
B13	33.925	30.000	A	2.712	-13,08%
B14	32.560	30.000	A	2.712	-8,53%
B15	31.434	30.000	A	2.712	-4,78%
B16	32.731	30.000	A	2.712	-9,10%
B17	32.833	30.000	A	2.712	-9,44%
B18	32.594	30.000	A	2.712	-8,65%
C04	29.693	30.000	A	2.712	*1,02%
C07	29.932	30.000	A	2.712	*0,23%
C09	31.673	30.000	A	2.712	-5,58%

* Superior a calculada

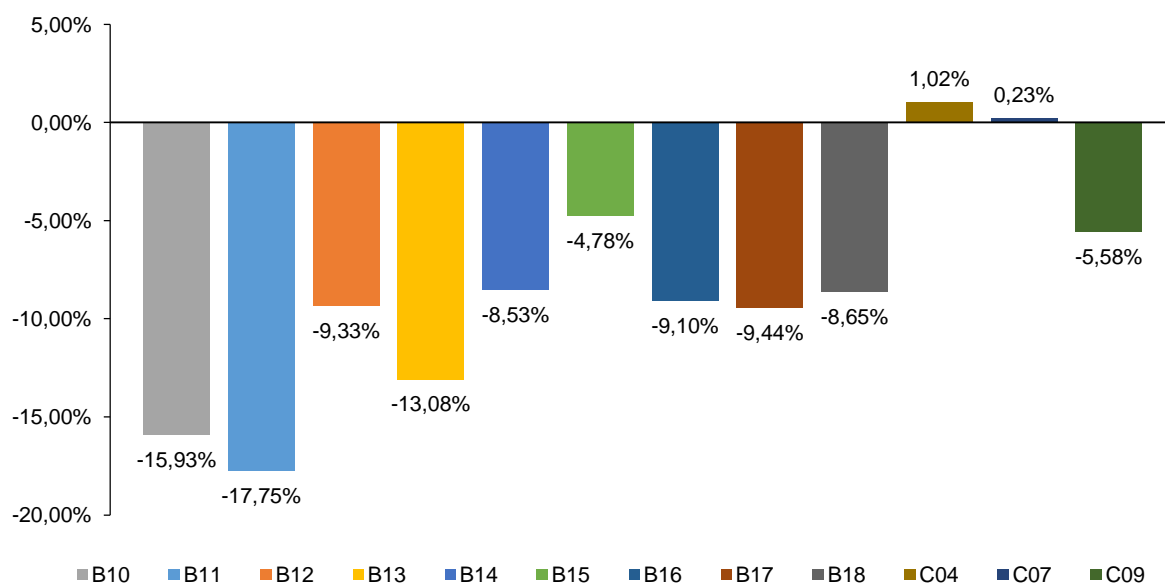


Figura 30 - Diferença entre a carga térmica do AAC com maior eficiência energética para as salas de aula e a carga térmica calculada utilizando a metodologia da ABNT NBR 16401-1:2008

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O principal objetivo desta pesquisa foi realizar uma avaliação do sistema de climatização instalados nas salas de aula do IFF *campus* Itaperuna com o interesse de avaliar se os AAC instalados são realmente adequados para promover um ambiente agradável que contribua para o bom desempenho da aprendizagem. Tomou-se por base as metodologias ABNT NBR 5858:1983 e ABNT NBR 16401-1:2008 que são utilizadas para calcular a carga térmica de ambientes internos.

Observa-se que das doze salas de aula avaliadas, dez estão com AAC que têm classificação energética D, enquanto que os AAC das salas de aula C04 e C09 têm classificação energética A, ou seja, apresentam maior eficiência energética.

Na realidade, baseado na ABNT NBR 5858:1983 e na ABNT NBR 16401-1:2008, não há nenhum AAC dimensionado de forma correta para atender o conforto térmico das respectivas salas de aula. De acordo com as cargas térmicas calculadas pela ABNT NBR 5858:1983 e pela ABNT NBR 16401-1:2008, pode-se observar uma diferença não superior a 11%.

Tomando por base a indicação do INMETRO (2013a) que apresenta uma lista com a capacidade de AAC atualmente comercializados no Brasil, sugere-se para todas as salas de aula, a utilização dos AAC de 30.000 BTU com classificação energética A, que, dos 55 modelos listados pelo INMETRO, apenas dois apresentam esta classificação, ou seja, apresentam maior eficiência energética.

Importante destacar que a temperatura interna das salas de aula deve ser ajustada à recomendada pela norma, que além de oferecer o conforto térmico adequado também proporcionará redução do consumo de energia elétrica, já que cada um grau a mais na escolha da temperatura que o condicionador de ar deve

manter o ambiente, significa a economia de cerca de 7% em energia elétrica (PUCRS, 2010).

Assim, como proposta para a instituição de ensino fruto deste trabalho, pode-se citar a manutenção regular dos equipamentos, conforme recomendado pelos fabricantes, manutenção esta que vai desde a limpeza dos filtros (periodicidade menor) à verificação de outros componentes do aparelho, tal como os trocadores de calor.

Sendo assim, sugere-se para trabalhos futuros realizar análise do nível de conservação de energia, apresentando como forma de contribuição o sombreamento dos ambientes com a utilização de árvores. Também sugere-se através da medição do consumo de energia elétrica, realizar comparações entre o gasto em ambientes com AAC subdimensionado e o gasto no mesmo ambiente com aparelho dimensionado conforme a ABNT NBR 16401-1:2008.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFREDO, José Carlos. **Análise crítica da norma brasileira ABNT NBR 16401-1 (Instalações de Ar Condicionado – Sistemas Centrais e Unitários - Parte 1 - Projeto das Instalações), 16401-2 (Parâmetros de Conforto Térmico) e 16401-3 (Qualidade do Ar Interior)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011. 108 f. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUOS-8S7HZZ/disserta_o_31_out_2011_pdf_jos_carlos__revisada__vers_o_para__impresso.pdf?sequence=1>. Acesso em: 8 mar. 2013.

ALVES, Manoel Rodrigues. **Ambientes Didáticos da Graduação: Diretrizes para layout, equipamentos, conforto térmico e acústico**. São Paulo: Suprema, 2011. 96 p. Disponível em: <<http://www.prg.usp.br/wp-content/uploads/manualambientesdidaticos.pdf>>. Acesso em: 30 mar. 2013.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). **2009 ASHRAE Handbook Fundamentals**. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2009. Disponível em: <http://www.knovel.com/web/portal/browse/display?_EXT_KNOVEL_DISPLAY_bookid=2554>. Acesso em: 9 ago. 2013.

_____. **ANSI/ASHRAE Standard 55-2010: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2012. Disponível em: <https://www.ashrae.org/File%20Library/docLib/StdAddenda/55_2010_d_Published.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2013.

_____. **ASHRAE Handbook Fundamentals 2005 - Cap. 30 - Non residential cooling and load calculations**. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2005.

_____. **ANSI/ASHRAE Standard 55-1992: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, 2004.

ANDREASI, Wagner Augusto. **Método para avaliação de conforto térmico em região de clima quente e úmido do Brasil**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009. 204 f. Disponível em:

<http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/teses/TESE_WagnerAndreasi.pdf>. Acesso em: 7 abr. 2013.

ARA, Paulo José Schiavon. **Desempenho de sistemas de condicionamento de ar com utilização de energia solar em edifícios de escritórios**. Dissertação (Mestrado Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. 191 f. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-01032011-135653/publico/Dissertacao_Paulo_Jose_Schiavon_Ara.pdf>. Acesso em: 8 mar. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT Catálogo**. Disponível em: <<http://www.abntcatalogo.com.br/normagrid.aspx>>. Acesso em: 30 mar. 2013.

_____. **ABNT NBR 15220-1: Desempenho térmico de edificações: Parte 1: Definições, símbolos e unidades**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003a.

_____. **ABNT NBR 15220-2: Desempenho térmico de edificações: Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003b.

_____. **ABNT NBR 16401-1: Instalações de ar-condicionado - sistemas centrais e unitários: Parte 1: projetos das instalações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2008a.

_____. **ABNT NBR 16401-2: Instalações de ar-condicionado - sistemas centrais e unitários: Parte 2: parâmetros de conforto térmico**. Rio de Janeiro: ABNT, 2008b.

_____. **ABNT NBR 5413: Iluminância de interiores**. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

_____. **ABNT NBR 5858: Condicionador de ar doméstico**. Rio de Janeiro: ABNT, 1983.

BRANDÃO, Rafael et al. The new research centre of the Brazilian Petroleum Company in Rio de Janeiro, Brazil: The achievements in the thermal performance of air-conditioned buildings in the tropics. In: **Energy and Buildings** v. 40, n. 10, p. 1917-1930, jan. 2008.

CAO, Bin et al. Field study of human thermal comfort and thermal adaptability during the summer and winter in Beijing. In: **Tackling building energy consumption challenges** - Special Issue of ISHVAC 2009, Nanjing, China v. 43, n. 5, p. 1051-1056, maio 2011.

CARLO, Joyce Correna; LAMBERTS, Roberto. **Convênio ECV-007/2004 Eletrobrás/UFSC. AET N° 02/04 - Elaboração de regulamentação e classificação de edificações eficientes - Processamento de arquivos climáticos para Simulação do desempenho energético de Edificações**. Florianópolis, 2005. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/arquivos_climaticos/RT200504.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2013.

CHEN, Y. L.; THOMPSON, J. F. Energy Use in Hydrocooling Stone Fruit. In: **American Society of Agricultural Engineers**, Miami, USA, v. 5, n. 4, p. 568-572, 1989.

CHEONG, K.W.D. et al. Thermal comfort study of an air-conditioned lecture theatre in the tropics. In: **Building and Environment**, Singapore, v. 38, n. 1, p. 63-73, jan. 2003.

CHOW, T.T. et al. Thermal sensation of Hong Kong people with increased air speed, temperature and humidity in air-conditioned environment. In: **Building and Environment**, Israel, v. 45, n. 10, p. 2177-2183, out. 2010.

CLIMAZON INDUSTRIAL LTDA. **Manual do proprietário - Split Springer**. Curitiba, 2012. Disponível em: <<http://www.springer.com.br/Download/299-2-1>>. Acesso em: 21 mar. 2013.

DESIGNBUILDER. **Welcome to DesignBuilder v3.4**. Disponível em: <<http://www.designbuilder.co.uk/helpv3.4/>>. Acesso em: 21 fev. 2014.

DING, Yan; TIAN, Zhe; ZHU, Neng. The retrofit of industrial air-conditioning system on energy efficiency and emission reduction. In: **Energy and Buildings**, Tianjin, China, v. 42, n. 6, p. 955-958, jun. 2010.

ELETROLUX DO BRASIL S.A. **Condicionadores de Ar Split**. Curitiba, 2012. Disponível em: <http://www.electrolux.com.br/produtos/condicionadores-de-ar/Documents/man_TI07F%20-%20TE07F.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2013.

ELGIN. **Manual de Operação: Condicionador de Ar Split Hi-Wall**. São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://www.elgin.com.br/PortalElginAdm/Upload/DownloadPublico/HomeOffice/Manual%20OP%20SR-SS-SM-4175%20-%201%20117%2090Rev.04.pdf>>. Acesso em: 21 mar. 2013.

ELSHARBINI, A.I.; MAHESHWARI, G.P. Impact of shading air-cooled condensers on the efficiency of air-conditioning systems. In: **Energy and Buildings**, Kuwait, v. 42, n. 10, p. 1948-1951, out. 2010.

FABRIS, Jonas Pedro. **Conforto térmico na indústria têxtil: Um estudo de caso em Mondai - SC**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003. 161 f. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/85041/207175.pdf>>. Acesso em: 8 mar. 2013.

FANGER, P. O. **Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering**. Copenhagen: Danish Technical Press, 1970. 248 p.

_____. **Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1972.

_____. **Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering**. Malabar, Flórida: Robert E. Krieger Publishing Company, 1982.

FANGER, P. O.; TOFTUM, J. Extension of the PMV model to non-air-conditioned buildings in warm climates. In: **Energy and Buildings**, Denmark, v. 34, n. 6, p. 533-536, jul. 2002. Acesso em: 21 set. 2013.

FANGER, P.O. et al. Air turbulence and sensation of draught. In: **Energy and Buildings**, Denmark, v. 12, n. 1, p. 21-39, 24 abr. 1988. Acesso em: 21 set. 2013.

FARIAS, Patrícia Marins. **Condições do ambiente de trabalho do professor: avaliação em uma escola municipal de Salvador - Bahia**. Dissertação (Mestrado em Saúde, Ambiente e Trabalho) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2009. 223 f. Disponível em: <<http://www.sat.ufba.br/site/db/dissertacoes/872009120742.pdf>>. Acesso em: 22 mar. 2013.

FASIUDDIN, M.; BUDAIWI, I. HVAC system strategies for energy conservation in commercial buildings in Saudi Arabia. In: **Energy and Buildings**, Saudi Arabia, v. 43, n. 12, p. 3457-3466, dez. 2011.

FASIUDDIN, M.; BUDAIWI, I.; ABDU, A. Zero-investment HVAC system operation strategies for energy conservation and thermal comfort in commercial buildings in hot-humid climate. In: **International Journal of Energy Research**, Saudi Arabia, v. 34, n. 1, p. 1-19, jan. 2010.

FELIX, Victor Barbosa. **Condições de conforto térmico e desconforto local em salas cirúrgicas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. 80 f. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3150/tde-02102008-173221/publico/dissertacao_victor_revisada.pdf>. Acesso em: 8 mar. 2013.

FISK, William; SEPPANEN, Olli. Providing better indoor environmental quality brings economic benefits. In: **Lawrence Berkeley National Laboratory**, Finland, 1 jun. 2007. Disponível em: <<http://escholarship.org/uc/item/3nm8g3fm>>. Acesso em: 19 fev. 2014.

GHISI, Enedir. **Desenvolvimento de uma metodologia para retrofit em sistemas de iluminação: estudo de caso na Universidade Federal de Santa Catarina**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997. 305 f. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/dissertacoes/DISSERTACAO_Enedir_Ghisi.pdf>. Acesso em: 9 mar. 2013.

GIVONI, Baruch. Comfort, climate analysis and building design guidelines. In: **Energy and Buildings**, Los Angeles, USA, v. 18, n. 1, p. 11-23, 1992. Acesso em: 21 set. 2013.

GOMES, Adriano Pinto. **Método de avaliação do desempenho térmico de edifícios comerciais e residenciais em Light Steel Framing**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2012. 147 f. Disponível em: <www.propec.ufop.br/upload/tese184.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2013.

GOMES, Cesar Henrique de Godoy. **Análise dos níveis de conforto térmico em um edifício de escritórios na cidade de Maringá**. Dissertação (Mestrado em

Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003. 129 f. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/dissertacoes/DISSER_TACAO_Cesar_Henrique_De_Godoy_Gomes.pdf>. Acesso em: 9 mar. 2013.

GÓMEZ, Luis A.; LAMBERTS, Roberto. Simulação da influência de algumas variáveis arquitetônicas no consumo de energia em edifícios. In: ENCONTRO NACIONAL, 3, E ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1, 1995, Gramado. **Anais...** Gramado, 1995. p.415-420.

GOOGLE. **Google Maps.** Disponível em: <<https://maps.google.com.br/maps?daddr=-21.187458,-41.929464&hl=pt-BR&sll=-21.187463,-41.929195&sspn=0.001861,0.002776&t=h&mra=mift&mrsp=1&sz=19&z=19>>. Acesso em: 23 mar. 2013.

HINRICHS, Roger A.; KLEINBACK, Merlin; REIS, Lineu Belico dos. **Energia e meio ambiente.** 2. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2010. 9788522107148 8522107149.

HIRST, E; MOYERS, J C. Efficiency of Energy Use in the United States: Transportation, space heating, and air conditioning provide opportunities for large energy savings. In: **Science**, New York, USA, v. 179, n. 4080, p. 1299-1304, 30 mar. 1973.

HUMPHREYS, M. A.; NICOL, F. Conflicting criteria for thermal sensation within the Fanger predicted mean vote equation. 1996, In: HARROGATE. **Anais...** Harrogate: [s.n.], 1996. p.153-158.

HWANG, Ruey-Lung et al. Thermal perceptions, general adaptation methods and occupant's idea about the trade-off between thermal comfort and energy saving in hot-humid regions. In: **Building and Environment**, Taiwan, v. 44, n. 6, p. 1128-1134, jun. 2009.

INATOMI, Thais Aya Hassan. **Análise da eficiência energética do sistema de condicionamento de ar com distribuição pelo piso em ambiente de escritório, na cidade de São Paulo, utilizando o modelo computacional Energyplus.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. 87 f. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-07102008-110310/publico/INATOMI_TAH_MESTRADO_2008_REV2.pdf>. Acesso em: 8 mar. 2013.

INSTITUTO FEDERAL FLUMINENSE (IFF). **Arte gráfica do IFF campus Itaperuna.** Itaperuna: IFF, 2013a.

_____. **Edital n.º 125, de 11 de setembro de 2013: processo seletivo para ingresso aos cursos técnicos de nível médio.** Itaperuna: IFF, 2013b. Disponível em: <<http://portal.iff.edu.br/editais/campus-campos-guarus/ingresso-de-alunos/editais-2014/edital-no-125-2013-processo-seletivo-2014>>. Acesso em: 14 set. 2013.

_____. **Obras do novo Parque Acadêmico Industrial.** Disponível em: <<http://portal.iff.edu.br/campus/itaperuna/noticias/obras-do-novo-parque-academico-industrial>>. Acesso em: 15 fev. 2014.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO). **Eficiência Energética - Condicionadores de Ar Split Hi-Wall.** Rio de Janeiro, 2013a. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/split2.pdf>>. Acesso em: 25 mar. 2013.

_____. **Inmetro - O que é o Inmetro.** Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/inmetro/oque.asp>>. Acesso em: 28 dez. 2013b.

_____. **Inmetro - Sinmetro.** Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/inmetro/sinmetro.asp>>. Acesso em: 28 dez. 2013c.

_____. **Programa Brasileiro de Etiquetagem - PBE / Eficiência Energética.** Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/qualidade/eficiencia.asp>>. Acesso em: 25 mar. 2013d.

JOHNSON, Derek. **Let's Clear the Air.** 2012. Disponível em: <http://naftcenews.wvu.edu/naftc_eneews/2012/12/20/let-s-clear-the-air>. Acesso em: 5 jan. 2014.

LEITE, Brenda Chaves Coelho. **Sistemas de ar condicionado com insuflação pelo piso em ambientes de escritórios: avaliação do conforto térmico e condições de operação.** Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. 162 f. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3132/tde-10032004-182635/publico/TESECOMPLETA.pdf>>. Acesso em: 8 mar. 2013.

LOUREIRO, Kelly Cristina Gonçalves. **Análise de desempenho térmico e consumo de energia de residências na cidade de Manaus.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003. 137 f. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/dissertacoes/DISSERTACAO_Kelly_Cristina_Goncalves_Loureiro.pdf>. Acesso em: 9 mar. 2013.

LU, Wei. Potential energy savings and environmental impacts of energy efficiency standards for vapor compression central air conditioning units in China. In: **Energy Policy**, China, v. 35, n. 3, p. 1709-1717, mar. 2007.

MARÉ, Renata Maria. **Estudo de eficiência da ventilação em sistema de climatização com distribuição de ar pelo piso.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. 205 f. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-18082010-170422/publico/Diss_RenataMariaMare_Rev.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2013.

MATOS, Rudmar Serafim. **TM-182 Refrigeração e Climatização.** Paraná, 2010. Disponível em: <<ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM182/CLIMATIZACAO/apostila>>

5_CARGA%20 TERMICA%20EM%20CLIMATIZACAO.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2013.

MAZZAFERRO, Leonardo et al. **Manual de simulação computacional de edifícios com o uso do pré-processador slab no programa EnergyPlus**. Florianópolis, 2013. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV4202_Manual_Slab.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2013.

MELO, Ana Paula. **Análise da influência da transmitância térmica no consumo de energia de edificações comerciais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007. 93 f. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/dissertacoes/DISSERTACAO_Ana_Paula_Melo.pdf>. Acesso em: 8 mar. 2013.

NAKANO, Junta; TANABE, Shin-ichi; KIMURA, Ken-ichi. **Differences in perception of indoor environment between Japanese and non-Japanese workers**. In: **Special Issue on Thermal Comfort Standards**, Japan, v. 34, n. 6, p. 615–621, jul. 2002.

OROSA, J A; OLIVEIRA, A C. Impact of climate change on cooling energy consumption. In: **Journal of the Energy Institute**, Australia, v. 83, n. 3, p. 171–177, 1 set. 2010.

PUCRS. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Faculdade de Engenharia. Grupo de Eficiência Energética. **USE - Uso Sustentável da Energia: guia de orientações**. Porto Alegre: PUCRS, 2010. Disponível em: <<http://www.pucrs.br/biblioteca/manualuse.pdf>>. Acesso em: 25 mar. 2013.

RESNICK, Robert; HALLIDAY, David; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física v. 1 - Mecânica**. [S.I.]: LTC, 1989. 370 p.

RORIZ, Maurício. **Arquivos Climáticos em formato EPW**. Florianópolis, 2005. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/arquivos_climaticos/RT200504.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2013.

RUPP, Ricardo Forgiarini. **Dimensionamento de área de janela em edificações comerciais: integração da iluminação natural com a artificial e utilização da ventilação híbrida**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011. 212 f. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/dissertacoes/_Disserta%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Acesso em: 8 mar. 2013.

SÃO PAULO, (Estado). Secretaria de Energia. **Manual de Economia de Energia Elétrica na Escola**. São Paulo, 2001a. Disponível em: <http://www.ecoreporter.abae.pt/docs/apoio/Manual_de_Economia_de_Energia_Eletrica_na_Escola.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2013.

SÃO PAULO, (Estado). Secretaria de Energia. **Manual de Economia de Energia Elétrica no Escritório**. São Paulo, 2001b. Disponível em:

<<http://www.energia.sp.gov.br/a2sitebox/arquivos/documentos/54.pdf>>. Acesso em: 25 mar. 2013.

SERAFIN, Raquel May. **Avaliação da redução do consumo de energia elétrica em função do retrofit no edifício sede da Eletrosul**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010. 139 f. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/dissertacoes/DISSERTACAO_Raquel_May_Serafin.pdf>. Acesso em: 9 mar. 2013.

SILVA, José de Castro; SILVA, Ana Cristina G. Castro. **Refrigeração e climatização para técnicos e engenheiros**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2007.

SOUSA, Vivian Aparecida Lima. **Estudo do comportamento de materiais não convencionais utilizados como revestimento de paredes, visando à redução da carga térmica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2012. 129 f. Disponível em: <http://bdtd.biblioteca.ufpb.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=2206>. Acesso em: 8 mar. 2013.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, Energy Efficiency & Renewable Energy. **EnergyPlus - Input Output Reference - The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output**. 27 set. 2013a. Disponível em: <<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/pdfs/inputoutputreference.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2013.

_____. **EnergyPlus Engineering Reference - The Reference to EnergyPlus Calculations**. 1 out. 2013b. Disponível em: <<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/pdfs/engineeringreference.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2013.

_____. **Getting Started with EnergyPlus -Basic Concepts Manual - Essential Information - You Need about Running EnergyPlus**. 1 out. 2013c. Disponível em: <<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/pdfs/gettingstarted.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2013.

_____. **Energy-Efficient Air Conditioning**. Merrifield, 1999. Disponível em: <<http://www.nrel.gov/docs/fy99osti/17467.pdf>>. Acesso em: 25 mar. 2013.

UĞURSAL, Ahmet; CULP, Charles H. The effect of temperature, metabolic rate and dynamic localized airflow on thermal comfort. In: **Applied Energy**, Texas, USA, v. 111, p. 64–73, nov. 2013.

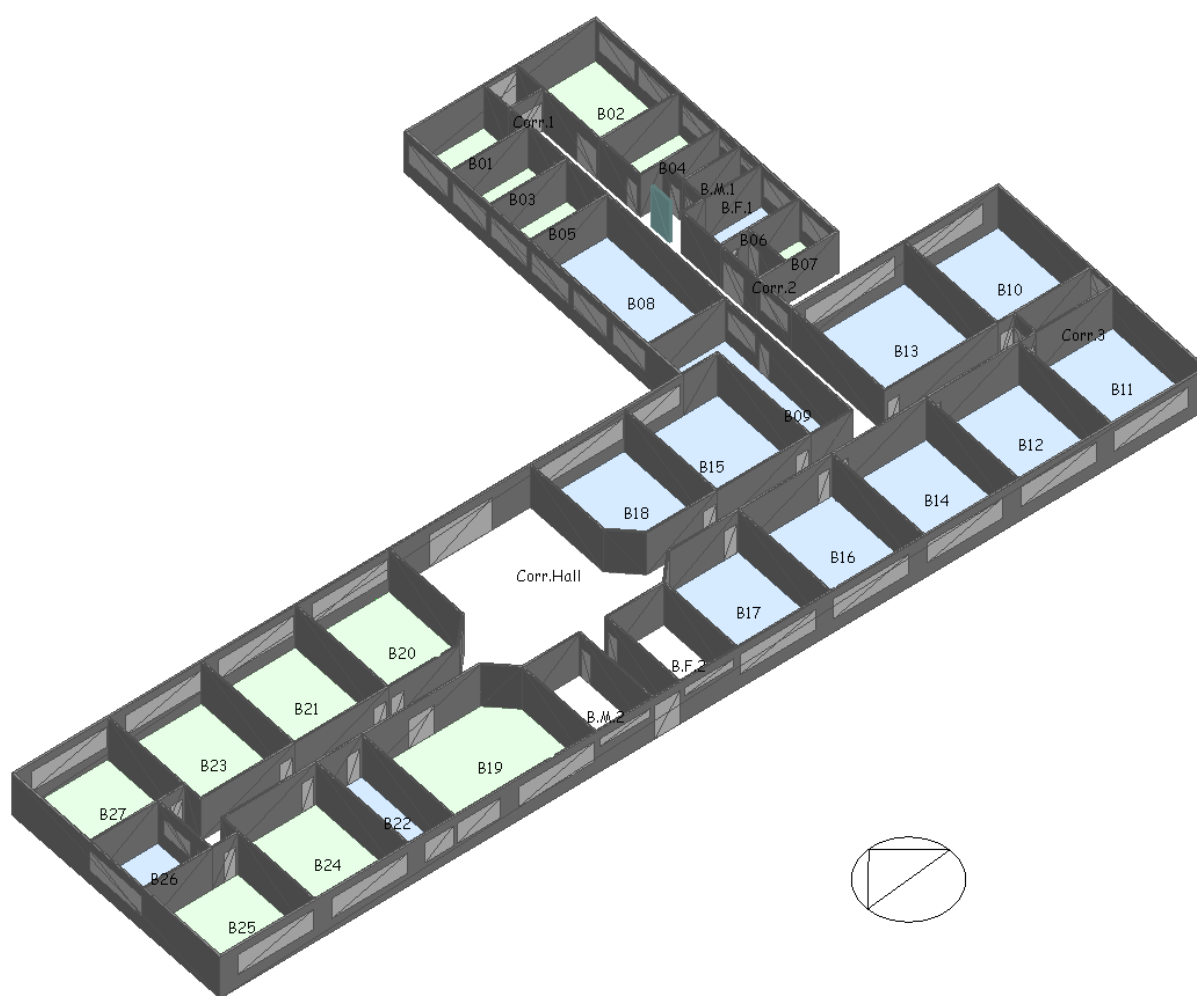
WAGNER, A. et al. Thermal comfort and workplace occupant satisfaction—Results of field studies in German low energy office buildings. In: **Energy and Buildings**, Alemanha, v 39, n. 7, p. 758–769, jul. 2007.

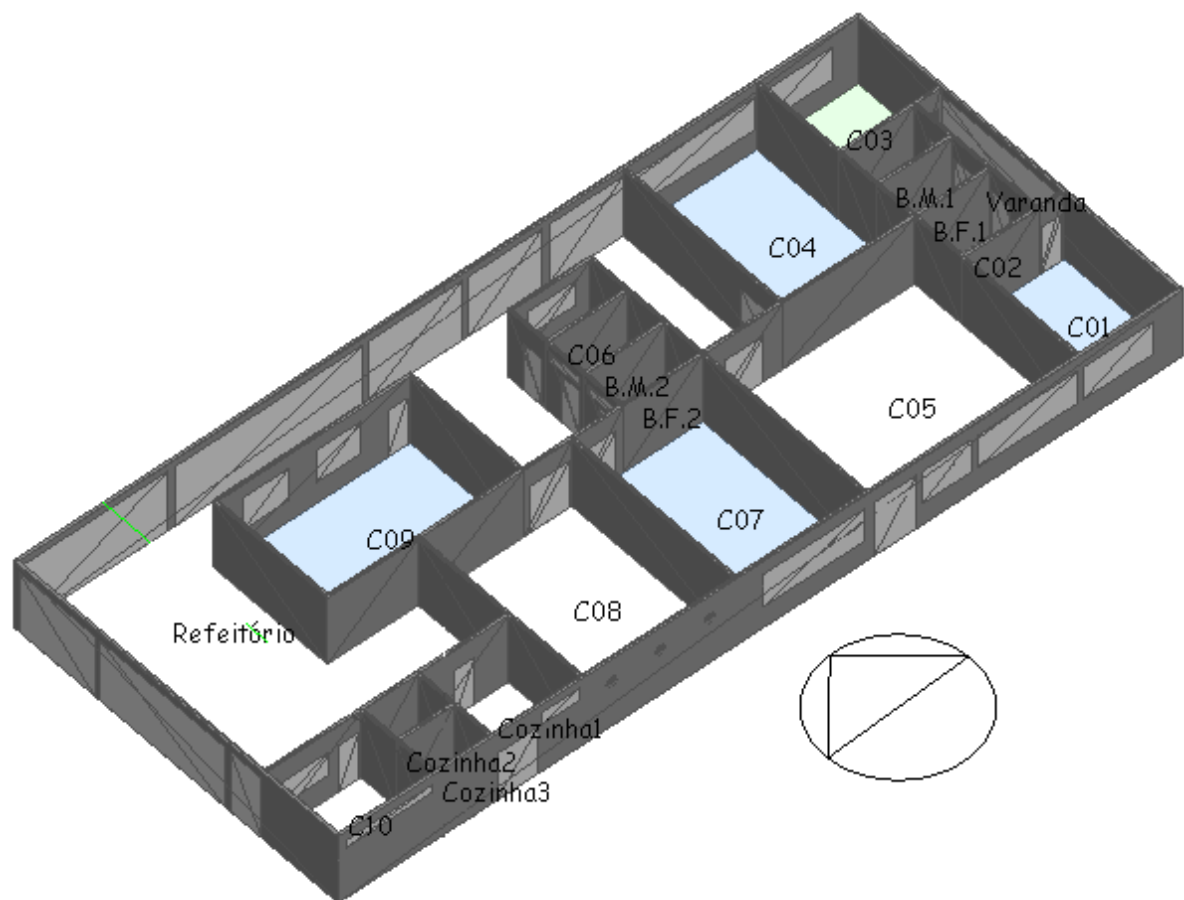
WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Constitution of the World Health Organization**. New York, 1946. Disponível em: <<http://apps.who.int/gb/bd/PDF/bd47/EN/constitution-en.pdf>>. Acesso em: 30 mar. 2013.

_____. **The Right to Healthy Indoor Air: Report on a WHO Meeting**. Bilthoven, The Netherlands, 2000. Disponível em: <http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0019/117316/E69828.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2014.

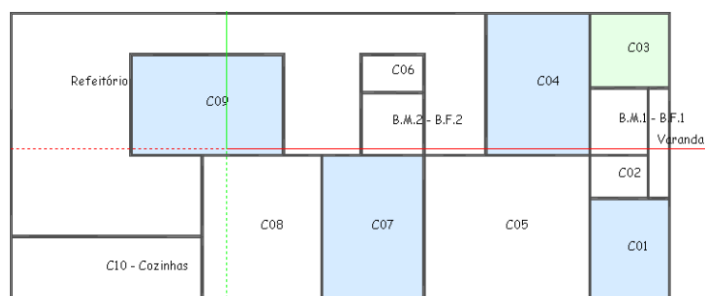
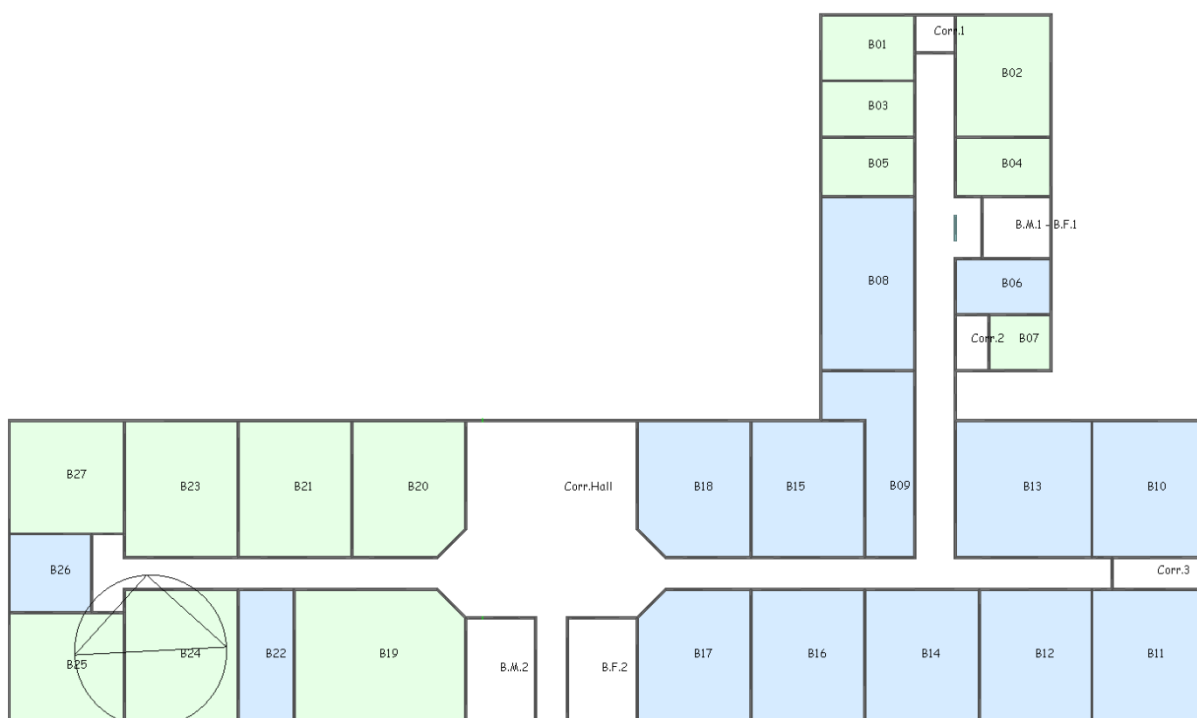
XAVIER, Antonio Augusto de Paula. **Condições de conforto térmico para estudantes de 2º grau na região de Florianópolis**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999. 198 f. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/dissertacoes/DISSERTACAO_Antonio_Augusto_de_Paula_Xavier.pdf>. Acesso em: 8 mar. 2013.

YANG, Xudong et al. Performance of three air distribution systems in VOC removal from an area source. In: **Building and Environment**, China, v. 39, n. 11, p. 1289–1299, nov. 2004.

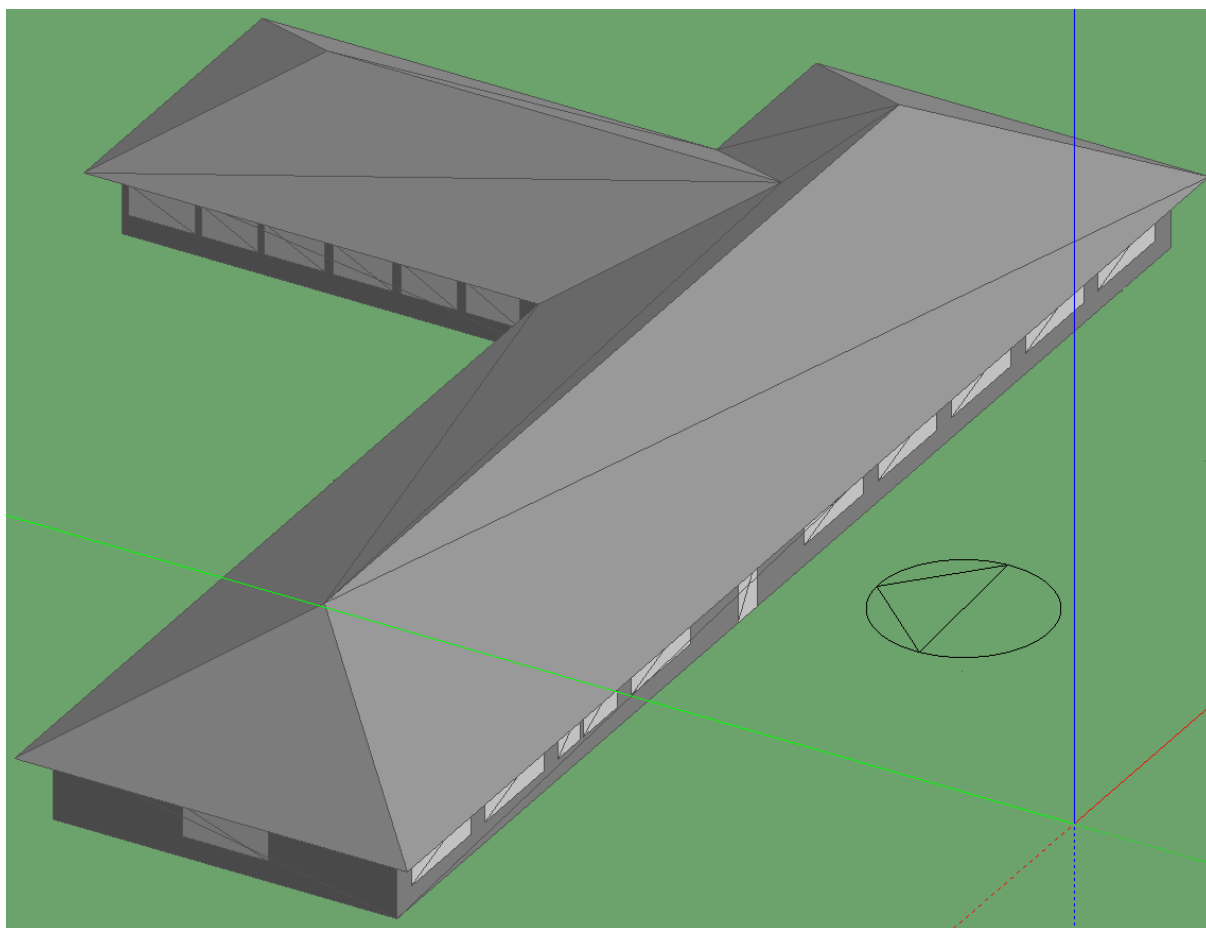
APÊNDICE A - LAYOUTS EM 3D DO BLOCO B NO DESIGNBUILDER

APÊNDICE B – LAYOUTS EM 3D DO BLOCO C NO DESIGNBUILDER

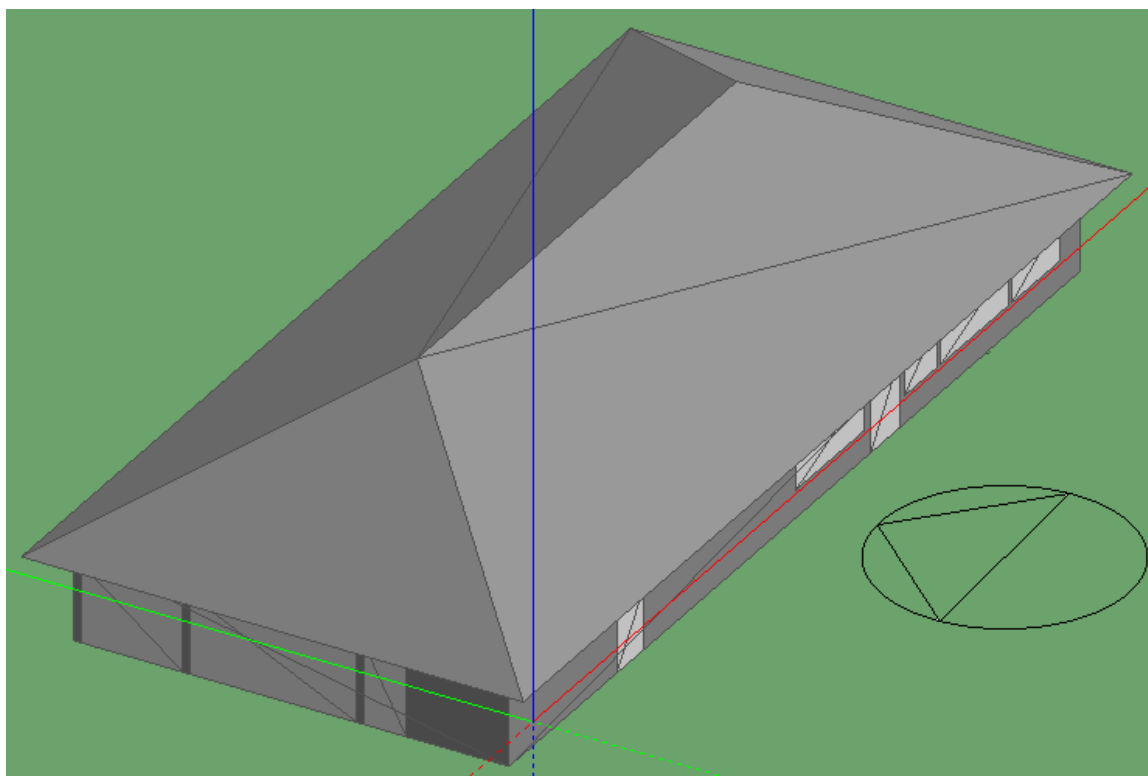
**APÊNDICE C - LAYOUTS DOS BLOCOS “B” E “C” MODIFICADOS
TOTALIZANDO 50 ZONAS NO DESIGNBUILDER**

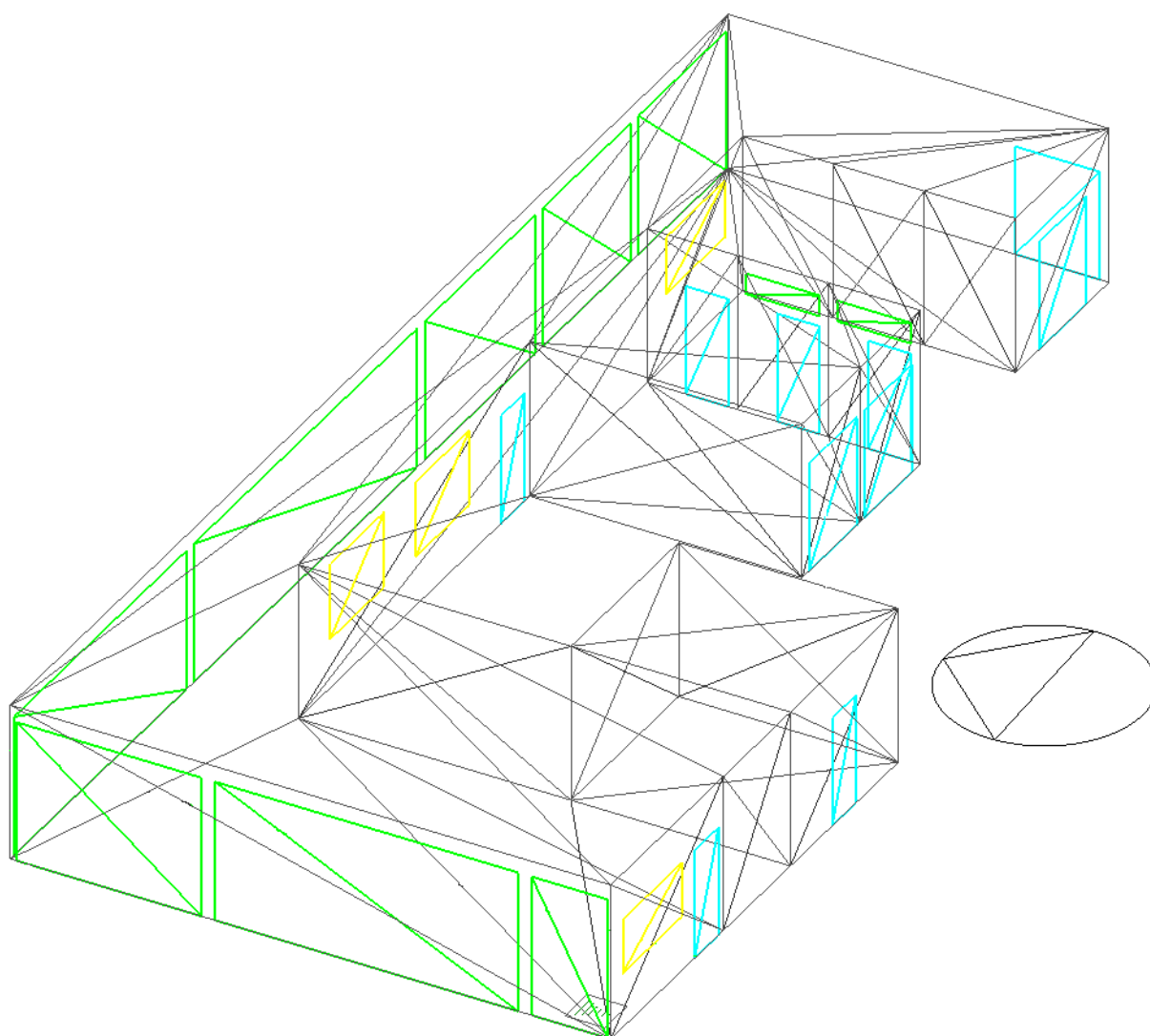


APÊNDICE D - LAYOUTS EM 3D DO BLOCO B COM TELHADO NO DESIGNBUILDER



APÊNDICE E - LAYOUTS EM 3D DO BLOCO C COM TELHADO NO DESIGNBUILDER



APÊNDICE F - LAYOUT DO REFEITÓRIO E VARANDA DO BLOCO C

ANEXO A - FORMULÁRIO PARA CÁLCULO SIMPLIFICADO DE CARGA TÉRMICA

Calor recebido de:	Unidades			Fatores			Unid.xFator
I - Janelas c/ insolação	Larg.	Alt.	Total	S/ Proteção	Proteção Interna	Proteção Externa	(kJ/h)
1.1 - Norte				1000	480	290	
1.2 - Nordeste				1000	400	290	
1.3 - Leste				1130	550	360	
1.4 - Sudeste				840	360	290	
1.5 - Sul				0	0	0	
1.6 - Sudoeste				1680	670	480	
1.7 - Oeste				2100	920	630	
1.8 - Noroeste				1500	630	400	
II - Janelas Transmissão	Larg.	Alt.	Total				
2.1 - Vidro comum				210			
2.2 - Tijolo de vidro/vidro duplo				105			
III - Paredes	Larg.	Alt.	Total	Construção Leve	Construção Pesada		
3.1 - Externas voltadas p/ o sul				55	42		
3.2. Externas outras orientações				84	50		
3.3. Interna / ambientes ã cond.				33			
IV - Teto	Compr.	Larg.	Total				
4.1 - Laje				315			
4.2 - Em laje, c/2,5 cm de isolamento ou mais				125			
4.3 - Entre andares				52			
4.4 - Sob telhado isolado				72			
4.5 - Sob telhado sem isolamento				160			
V - Piso	Compr.	Larg.	Total				
Piso não colocado sobre o solo				52			
VI - Pessoas							
Em Atividade Normal				630			
Em Atividade Física (Academia)				1000			
VII - Iluminação e aparelhos							
Lâmpadas (Incandescentes)			W	4			
Lâmpadas (Fluorescentes)			W	2			
Aparelhos Elétricos			KW	860			
Motores			HP	645			
Número de Computadores			W	3,412			
VIII - Portas ou vãos	Larg.	Alt.	Total				
Abertos constantemente			0	630			
SubTotal							

Fonte: NBR 5858 (ABNT, 1983)

ANEXO B - ABNT CATÁLOGO - ABNT NBR 5858

The screenshot shows the ABNT catalog search results for the query '5858'. The page features a navigation bar with links to 'Conheça a ABNT', 'Catálogo', 'Coleção', and 'Fale Conosco'. Below this is a yellow menu bar with icons for 'Início', 'Meu cadastro', 'Meus pedidos', 'Meu carrinho', 'Perguntas Frequentes', and 'Instalação'. The main content area is titled 'Resultado de Pesquisa' and displays search filters: 'Produtos relacionados a sua busca >>', 'Normas (4)', 'Cursos (0)', and 'Publicações (0)'. A message states: 'Foram encontradas 4 normas para "5858" nos campos: Número, Título e Resumo'. A 'Refinar Pesquisa' link is also present. The search results are presented in a table with two columns: 'Norma' and 'Status'.

Norma	Status
A norma ABNT NBR 5858:1983 está cancelada e não possui substituta.	Cancelada
A norma ABNT NBR 5858:1978 está cancelada. Substituída por: ABNT NBR 5858:1983 Condicionador de ar doméstico	Substituída
A norma ABNT NBR 5858:1972 está cancelada e não possui substituta.	Cancelada
A norma ABNT NBR 5882:1983 está cancelada e não possui substituta.	Cancelada

Fonte: ABNT (2013)

ANEXO C - ABNT CATÁLOGO - ABNT NBR 6401

[Conheça a ABNT](#) > [Catálogo](#) > [Coleção](#) > [Fale Conosco](#)

 [Início](#)
 [Meu cadastro](#)
 [Meus pedidos](#)
 [Meu carrinho](#)
 [Perguntas Frequentes](#)
 [Instalação](#)

 **Resultado de Pesquisa**

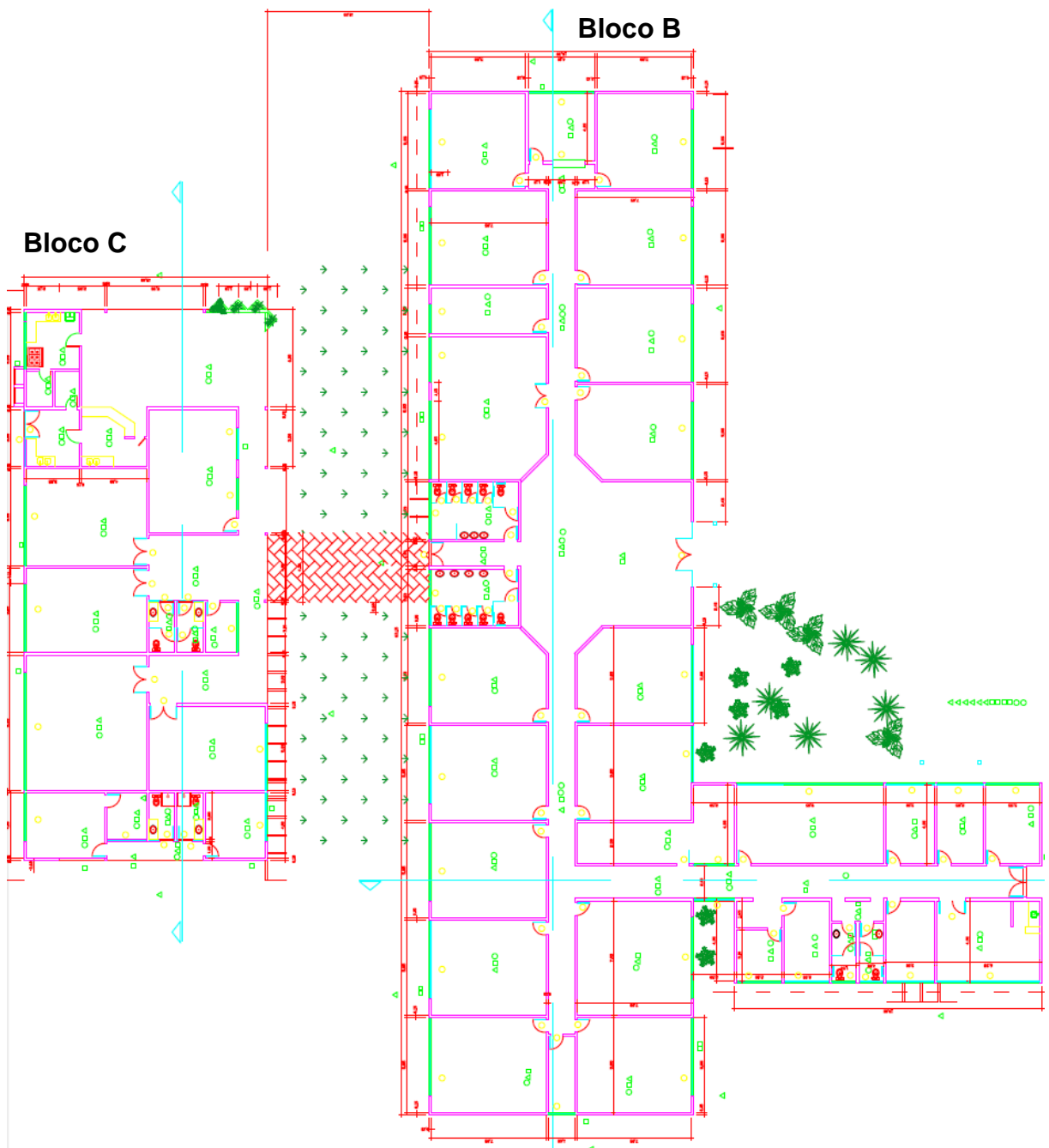
[Produtos relacionados a sua busca >>](#)
[Normas \(3\)](#)
[Cursos \(0\)](#)
[Publicações \(1\)](#)

Foram encontradas 3 normas para "6401" nos campos: Número, Título e Resumo  [Refinar Pesquisa](#)

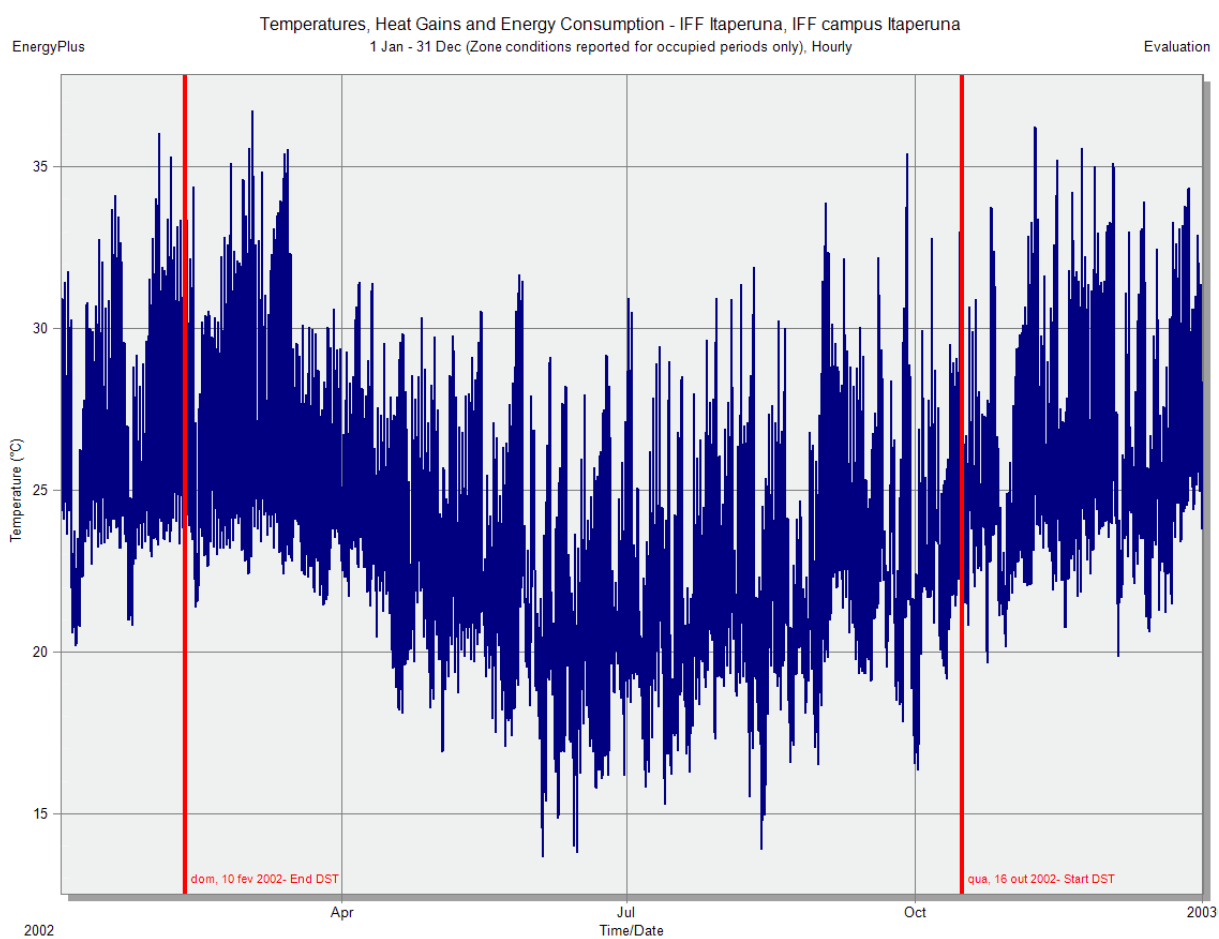
Norma	Status
A norma ABNT NBR 6401:1980 está cancelada. Substituída por: ABNT NBR 16401-2:2008 - Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários ABNT NBR 16401-3:2008 - Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários ABNT NBR 16401-1:2008 - Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários	Substituída
A norma ABNT NBR 6401:1972 está cancelada. Substituída por: ABNT NBR 6401:1980 Instalações centrais de ar-condicionado para conforto - Parâmetros básicos de projeto	Substituída
A norma ABNT NBR 6401:1951 está cancelada. Substituída por: ABNT NBR 6401:1972 Instalações de condicionamento de ar	Substituída

Fonte: ABNT (2013)

ANEXO D - PLANTA BAIXA - BLOCOS "B" E "C"



ANEXO E - GRÁFICOS COM INFORMAÇÕES DE TEMPERATURA DO ARQUIVO CLIMÁTICO DE CAMPOS DOS GOYTACAZES



EnergyPlus Temperatures, Heat Gains and Energy Consumption - Itaperuna, IFF campus Itaperuna
3 Mar - 3 Mar (Zone conditions reported for occupied periods only), Hourly Evaluation

