XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído
JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

AUTOMAÇÃO PREDIAL: TECNOLOGIA E GESTÃO EM PROL DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM PRÉDIOS PÚBLICOS

Carmelina Suquere de Moraes (1); André Luiz Amorim da Fonseca (2)
(1) Mestre, Arquiteta e Urbanista, carmelinasuquere@gmail.com, Centro Universitário de Várzea Grande, Avenida Dom Orlando Chaves n°2655, 65-36886010
(2) Mestre, Engenheiro Eletricista, andre.fonseca@cba.ifmt.edu.br, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, Rua Zulmira Canavarros, 93. Centro - CEP 78005-200, Cuiabá - MT, (65) 3318-1458

RESUMO
O objetivo principal deste trabalho é analisar o emprego da automação em condicionadores de ar utilizados em salas de aulas de uma edificação de ensino visando o uso racional da energia elétrica. Apresenta-se inicialmente um levantamento das potências instaladas dos condicionadores de ar em cada uma das salas de aula, que são comparadas com a potência necessária através de métodos prescritivos de cálculo da carga térmica e com os resultados da simulação computacional obtidas com o uso do *software EnergyPlus*. Na busca de soluções que visem uma melhoria quanto ao uso racional da energia elétrica, a pesquisa apresenta medições de potência ativa em cinco salas de aulas, com acionamento convencional, isto é, sem nenhuma interferência no sistema, em comparação ao acionamento automatizado por períodos de uso e posteriormente com acionamento controlado através do cronograma de ocupação das salas de aulas. Os dados foram coletados através das medições nos quadros de distribuição que alimentam os condicionadores. Os resultados das medições de energia mostraram o funcionamento de condicionadores de ar fora de horário de aula, visto que, nesta situação o consumo de energia elétrica é significativo, pode ser reduzido com o emprego da automatização do funcionamento dos aparelhos.
Palavras-chave: Automação predial, eficiência energética, condicionadores de ar..

ABSTRACT
The main objective of this work is to analyze the use of automation in air conditioners used in classrooms of an educational building aiming at the rational use of electric energy. It is initially presented a survey of the installed powers of the air conditioners in each of the classrooms, which are compared with the power required by prescriptive methods of calculation of the thermal load and with the results of the computer simulation obtained with the use of the software *EnergyPlus*. In the search for solutions that aim at an improvement in the rational use of electric energy, the research presents measurements of active power in five classrooms, with conventional operation, that is to say, without any interference in the system, in comparison to the automated drive for periods of use and later with controlled drive through the schedule of occupation of the classrooms. The data were collected through the measurements in the distribution boards that feed the conditioners. The results of the energy measurements showed the operation of air conditioners outside class hours, since, in this situation the consumption of electric energy is significant, can be reduced with the use of automation of the operation of the devices.
Keywords: Building automation, energy eficiency, air conditioners.

1. INTRODUÇÃO

A energia está na origem de uma parte importante dos impactos das atividades humanas sobre o meio ambiente. A relação otimizada entre a energia e o meio ambiente se insere em uma das maiores preocupações mundiais sobre a evolução do planeta e das responsabilidades da atual geração no uso correto desta relação como um legado de vida saudável e harmoniosa para as futuras gerações (KRAUSE et al. 2002).

No Brasil, cerca de 65,2% do suprimento de energia elétrica do país provém de geração hidráulica (Balanço Energético Nacional – BEN 2018), sendo que este valor era de 76,9% em 2010 (Balanço Energético Nacional – BEN 2010), uma melhor utilização dos recursos já existentes torna-se uma necessidade, haja vista que a redução do consumo através do combate ao desperdício de energia, posterga-se investimentos do setor elétrico e evita-se agressões ao meio ambiente.

Tratando-se dos futuros edifícios, Hensen e Lamberts (2011) pontuam que além de requisitos mais exigentes de sustentabilidade deverá ocorrer melhoria na qualidade do ar interno, embora o foco presente dos edifícios esteja mais voltado para a redução da demanda energética. Uma vez que o consumo dos aparelhos condicionadores de ar dentro de uma edificação é bastante significativo, este trabalho está direcionado no sentido da especificação correta do aparelho em função da carga térmica do recinto e no emprego da automação predial para o uso racional da energia. Na possibilidade dos edifícios se tornarem mais eficientes através de reformas (*retrofitting*) decorrentes de adaptação tecnológica das instalações elétricas, hidráulicas e dos principais equipamentos instalados nos edifícios, porém sem controle no uso final a economia desejada não será alcançada.

A utilização exacerbada de condicionadores de ar nas edificações pode ser imposta pelo clima local, isto é, pela zona bioclimática na qual a edificação está inserida. Durante *et al.* (2009) apontam que a satisfação dos alunos com o ambiente físico das salas de aula está mais diretamente relacionada às condições de temperatura do que de iluminação. Existem estratégias que podem ser empregadas como, por exemplo, a ventilação, porém em todos os períodos do ano, levando assim a necessidade do uso do condicionador de ar. A cidade de Cuiabá, local da edificação em estudo, está inserida na zona bioclimática 7, com temperatura média anual de 26,8°C, com média das máximas de 42°C e médias das mínimas de 15°C, umidade relativa do ar média de 78% e insolação total média de 2.179 horas conforme Leão (2007). De acordo com a carta bioclimática a insuficiência das estratégias passivas para o clima de Cuiabá deve ser suprida em 8,55% das horas de desconforto com o condicionador de ar.

Nas futuras edificações com a entrada do uso de fontes renováveis e melhores ferramentas de gestão, a inteligência artificial vem sendo aplicada em pesquisas. O consumo dos sistemas de ar condicionado são tão impactantes nas edificações de uso energético quase zero que Alamin *et al.* (2018) utilizam Redes Neurais
Artificiais para predição do perfil de consumo de energia elétrica de uma central de ar condicionado de uma edificação pertencente a uma universidade na Espanha, a fim de manter o conforto térmico e aproveitar ao máximo a energia solar fotovoltaica gerada na mesma edificação.

Vizzotto (2015) realizou estudo sobre a melhoria da eficiência energética e conforto em edificações com o emprego de sistema de automação predial-residencial. Onde, com a análise comparativa das simulações percebeu-se que alterando o horário de funcionamento do sistema de climatização foi possível manter a sala 100% do tempo na faixa de conforto térmico durante as aulas, porém com um aumento no consumo de energia. Com o uso dos softwares *EnergyPlus* e *Matlab,* foi desenvolvido um algoritmo utilizando um modelo computacional a fim de ajustar o valor de *setpoint* de resfriamento do sistema de climatização integrado ao sistema de automação da sala com o objetivo de reduzir o consumo de energia elétrica. Os resultados mostraram uma redução de aproximadamente 17%.

Em se tratando de edifícios públicos, objeto de estudo desta pesquisa, em particular o bloco da Engenharia Elétrica no campus Cuiabá da Universidade Federal de Mato Grosso, que possui aparelhos de condicionamento de ar que são acionados, livremente sem qualquer controle. Essa situação vem ocasionando alto consumo e funcionamentos fora dos horários previstos para as aulas. Em meio a isto, o emprego de um sistema que automatize uso dos condicionadores de ar através de programação horária justifica-se, visando o controle e uso racional da energia elétrica.

2. OBJETIVO

Esta pesquisa tem como objetivo analisar como o emprego da automação em condicionadores de ar pode contribuir na eficiência no consumo da energia elétrica sem sacrificar as necessidades de conforto térmico aos usuários da edificação. Para o alcance do objetivo proposto, pretendeu-se especificamente:

I. Avaliar a demanda e o consumo da energia elétrica dos condicionadores de ar do edifício em estudo.
II. Analisar a carga térmica dos ambientes refrigerados através de métodos presentes na literatura brasileira, de acordo com a norma NBR 16401-3/2008 e ASHRAE (2017), e através de simulação computacional com o Energyplus (2018).
III. Aplicar o Regulamento Técnico da Qualidade (RTQ-C) no requisito condicionador de ar.
IV. Analisar as diferentes possibilidades de automação e controle para condicionadores de ar.
V. Implementar o sistema de automação e realizar medições.
VI.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia está subdividida em três tópicos:

I. Área de estudo;
II. Materiais utilizados;
III. Etapas para o uso racional e eficiência dos condicionadores de ar.

3.1. Área de Estudo

A área onde se insere o objeto de estudo encontra-se dentro do campus universitário da Universidade Federal de Mato Grosso, na cidade de Cuiabá, no bloco D (Engenharia Elétrica) posicionado na latitude 15°36'27,56"S e longitude 56° 3'51,17"W, na direção NO, conforme Figura 1. A edificação constituída é de concreto armado, com paredes compostas de tijolos cerâmicos de 21 Furos (11 x 6 x 24cm), com reboco apenas de um lado, sendo que no pavimento térreo as paredes possuem no total 13 cm de espessura, e no pavimento superior as paredes possuem 24 cm de espessura,



Figura 1 – Bloco da Engenharia Elétrica no campus da UFMT.

As salas de aulas do bloco em estudo possuem corredores com cobertura em todo seu comprimento, posicionados a nordeste e sudoeste da edificação, que a protege da radiação solar direta conforme Figura 02. Seu acabamento consiste no próprio tijolo cerâmico, com pintura de resina, piso de cerâmica vermelha (30 x 30 cm), janelas altas nas salas do pavimento térreo, janelas a partir de 1,0 m de altura e portas de ferro e vidro no pavimento superior.



Figura 2– Sombreamento bloqueando a incidência da radiação solar direta nas salas. Pavimento Superior

As paredes externas do pavimento superior são compostas por tijolos cerâmicos, argamassa, tijolos e reboco interno. As esquadrias de ferro e vidro e o teto composto de laje de concreto e telha de fibrocimento, o piso composto de laje de piso e piso cerâmico. No pavimento térreo as paredes são compostas por tijolo, argamassa e reboco. A cobertura se dá por telhas de fibrocimento, protegidas com platibandas em todo perímetro, bem como o espaço para o recebimento das águas pluviais. No pavimento térreo estão localizadas as salas de aulas e laboratórios e no pavimento superior são dispostas somente salas de aulas. A edificação é composta por dois pavimentos conforme Figura 3.

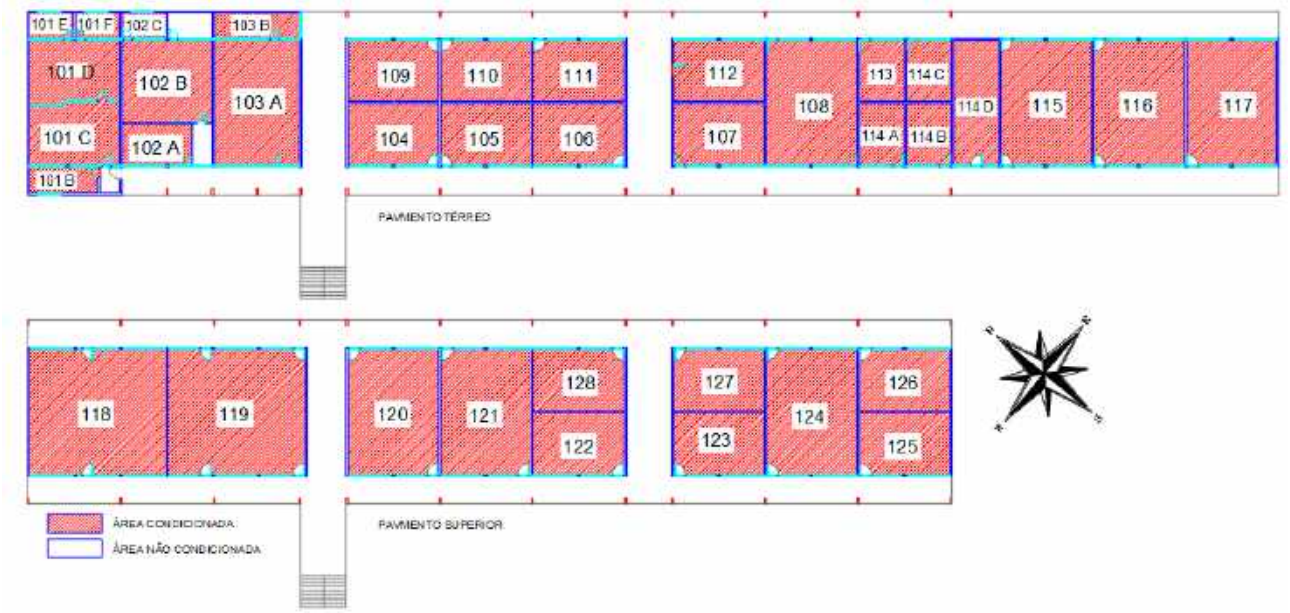


Figura 3– Planta Baixa da edificação em estudo – Pavimento térreo e superior

As transmitâncias térmicas dos elementos construtivos são apresentados na tabela a seguir:

Tabela 1– Propriedades térmicas dos materiais.

Materiais	Condutância Térmica	Transmitância Térmica
Parede: Cerâmica + reboco	2,83 kcal/h / m². °C	3,29 W/(m².K)
Parede dupla: cerâmica+cerâmica+ reboco	2,00 kcal/h / m². °C	2,33 W/(m².K)
Superfícies transparentes: vidro	4,94 kcal/h / m². °C	5,74 W/(m².K)
Divisórias em madeira	2,74kcal/h / m². °C	3,19 W/(m².K)
Viga de concreto	3,36kcal/h / m². °C	3,91 W/(m².K)
Laje de Concreto	2,65kcal/h / m². °C	3,08 W/(m².K)
Laje de piso: piso cêramica+argamassa+concreto	1,71kcal/h / m². °C	1,98 W/(m².K)
Cobertura: Laje + Fibrocimento	1,68 kcal/h / m². °C	1,95 W/(m².K)
Cobertura: PVC + Fibrocimento	1,85 kcal/h / m². °C	2,15 W/(m².K)

As salas de aulas possuem condicionadores de ar do tipo janela e *split*, sendo os últimos instalados no ano de 2010, isto é, a edificação inicialmente não foi projetada para uso destes condicionadores de ar. A obra foi executada na década de 70, desde então vem recebendo adequações conforme a necessidade.

3.2. Materiais Utilizados

O quadro principal de distribuição de energia encontra-se dentro do laboratório de eficiência energética, local onde foram conectados os medidores de energia para realizar as medições iniciais (Figura 4a). O quadro terminal que alimenta os condicionadores de ar encontra-se localizado no pavimento superior (Figura 4b), responsável por levar os circuitos terminais a nove condicionadores de ar. Outros nove condicionadores de ar são alimentados por um segundo quadro terminal localizado simetricamente ao primeiro, porém sem implementação da automatização propositais para obtenção de parâmetros comparativos.



(a)



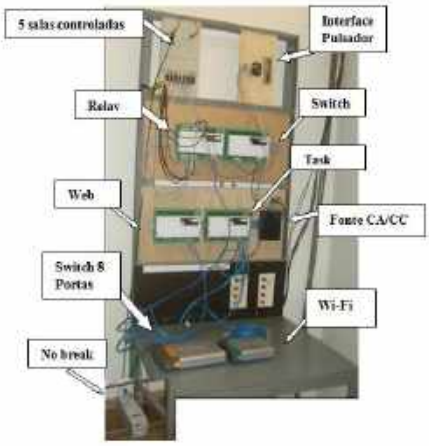
(b)

Figura 4 – Quadros elétricos de força; (a) quadro principal de distribuição de energia; (b) quadro terminal que alimenta dos condicionadores de ar

Na presente pesquisa, foram selecionadas cinco salas de aula para a realização da automatização dos condicionadores de ar, salas localizadas no pavimento superior, denominadas: 118, 119, 120, 121 e 122. Os condicionadores que receberam a automação são da marca Fujitsu ASB30A1 (unidade interna) e AOB30A1 e (unidade externa) de 31.200 BTU. Para a realização das medições de energia elétrica foi utilizado um analisador de energia MARH-21, da fabricante RMS (Figura 5a), este medidor foi instalado junto ao quadro principal de distribuição de energia. Para a automatização dos condicionadores de ar, foram empregados módulos de automação residencial com intenção de dar prosseguimento à pesquisa e integrar demais sistemas futuros para fins de uso racional da energia elétrica. A escolha do equipamento de automação residencial chamada *Module* ocorreu em virtude de o fabricante (Neocontrol) possuir um sistema já preparado para a integração de demais tecnologias, como a dimmerização ou controle de demais cargas, assim oferecendo maior flexibilidade e facilidade de configuração. Os módulos foram instalados próximos ao quadro terminal dos condicionadores de ar, em uma bancada usada para fins didáticos.



(a)



(b)

Figura 5 – Equipamentos de medição e controle; (a) analisador de energia RMS MARH-21; (b) módulos de automação Neocontrol.

A Figura 5b fornece uma visão geral da bancada utilizada para avaliação experimental. Os módulos necessitam de uma fonte de 5V / 300mA. Uma vez conectados à rede Ethernet deve-se conectar a parte de potência dos módulos (*Module Dimmer*, *Module Relay* e *Module AV*) às cargas que deverão ser automatizadas (NEOCONTROL, 2009).

3.3. Etapas para o uso racional e eficiência dos condicionadores de ar

Para a análise do consumo de energia elétrica foram instalados medidores e registradores de energia, um em cada quadro de distribuição que alimenta os quadros terminais dos condicionadores de ar. As medições foram realizadas no período de 20 de setembro a 19 de outubro, isto é, 30 dias de medições a fim de obter uma amostra significativa. As medições iniciais ocorreram no período de setembro a outubro durante o período letivo, sendo que horário de atividade na instituição vai das 07h30min às 22h00min.

As medições após a implantação da automatização dos condicionadores de ar, de acordo com o horário dos turnos das aulas, ocorreram no período de 8 de agosto a 27 de setembro. E as medições referentes à automatização dos condicionadores de acordo com o cronograma de horário das aulas ocorreram no período de 14 de novembro a 13 de dezembro.

O cálculo da carga térmica teve como objetivo de avaliar os condicionadores de ar pelo Regulamento Técnico da Qualidade (RTQ) que exige que os aparelhos condicionadores de ar estejam adequados a carga térmica do ambiente. Para isso, o procedimento consistiu no levantamento das características dos ambientes tais como as dimensões das salas, o número de usuários em cada sala, o número de aberturas, as áreas das frestas, variáveis estas que influenciam na carga térmica. Os valores de condutividade térmica considerada para todos os materiais foram baseados na NBR 15220-2/2008 (ABNT,2008).

A simulação do Bloco de Engenharia Elétrica da UFMT no *EnergyPlus* passou por diversas etapas como inserção da geometria, arquivo climático, entre outras, sendo que ao final foi gerado um arquivo com a extensão "*.idf*", que contém todos dos dados necessários para o programa calcular a carga térmica interna de cada ambiente. Para os dados climáticos locais, foi utilizado o arquivo climático de extensão "*.epw" (formato climático do EnergyPlus)* da cidade de Cuiabá, obtido do Departamento de Energia dos Estados Unidos disponível em "http://www.eere.energy.gov". As salas consideradas para a simulação da carga térmica foram às salas que receberam a automatização dos condicionadores de ar, isto é, as salas 118, 119, 120, 121 e 122 respectivamente.

Com objetivo de eficientizar o sistema de condicionamento ambiental através da troca de aparelhos mais eficientes, a metodologia do levantamento dos condicionadores de ar foi baseada no Regulamento Técnico da Qualidade em edifícios comerciais e públicos RTQ-C. A coleta de dados dos condicionadores permitiu identificar duas situações: alguns aparelhos que ainda apresentavam o selo PROCEL de eficiência enquanto outros não. Para identificar o nível de eficiência dos aparelhos sem o selo, procedeu-se do seguinte modo: identificação da marca e o nível classificação da eficiência de cada aparelho e foi extraído das tabelas do Programa Brasileiro de Etiquetagem PBE/INMETRO (INMETRO, 2008).

Para análise das diferentes estratégias de controle dos condicionadores de ar, foi instalado um sistema de automatização que permite o acionamento e desligamento dos circuitos terminais dos condicionadores de ar de acordo com o horário normal das aulas, isto é: das 07h30min às 11h30min, das 13h30min às 17h30min, das 18h00min às 22h00min. Essa primeira estratégia faz uso somente de contatores e programadores horários. Nessa primeira etapa de implementação da automatização, o principal objetivo foi evitar o uso dos aparelhos em horários não previstos para atividades dentro do campus, tais como o horário de almoço, o intervalo entre aulas e após às 22h00min. O quadro contendo as chaves magnéticas e o programador horário foi instalado próximo ao quadro terminal dos condicionadores de ar.

Posteriormente, foi instalado um sistema de automação, em que o acionamento ocorre de acordo com o cronograma de horário de ocupação das salas. Os módulos de automação utilizados permitem o agendamento dos horários de ocupação ou reserva de cada sala de aula liberando ou não o funcionamento de cada aparelho, de modo que se possa comparar o consumo de energia frente às diferentes alternativas.

Empregaram-se módulos de automação com funções pré-definidas cujo principal objetivo foi de facilitar a execução das tarefas e a reprogramação semestral de ocupação das salas para que se possa controlar o acionamento dos condicionadores de ar.

4. RESULTADOS

Os resultados são apresentados para cada etapa proposta nesta pesquisa, sobre os quais se fundamenta o objetivo geral. Para tanto, procede-se as análises energéticas, análises dos métodos prescritivos da carga térmica, análise da simulação computacional da carga térmica no *EnergyPlus* e, por fim, as análises das estratégias de eficientização nos condicionadores de ar.

4.1 Análise energética das salas de aula sem automatização

As salas de aulas em que foram realizadas as medições possuem 9 condicionadores de ar do tipo *split* de 31200 BTU/h e potência ativa nominal de 3,1 kW. Caso todos os condicionadores funcionassem simultaneamente, teria uma demanda máxima de 27,9 kW. Entretanto, a demanda máxima medida dentro do horário de utilização das salas alcançou 19,12 kW referentes a nove condicionadores de ar localizados nas salas a serem automatizadas, isto se deve ao fato de que é remota a possibilidade do acionamento dos compressores dos equipamentos em estudo de forma simultânea.

O consumo fora do horário previsto para a ocupação das salas correspondeu a 33% do consumo total medido, isto é, são 1.427,53 kWh. O período que corresponde das 11h31min às 13h30min trata-se do

horário de almoço. O período de 17h31min as 18h00min compreende o intervalo entre o turno vespertino e o noturno, e o período das 22h01min às 7h30min referem-se ao período em que não deveria haver consumos. Caso se empregue um sistema que venha liberar o acionamento ou o desligamento destes aparelhos conforme os horários das aulas, isto é, das 07h30min às 11h30min, 13h30min às 17h30min e 18h00min às 22h00min, este valor seria em princípio de economia de energia. Evidentemente, o consumo variaria em função das estações e condições climáticas, período de recesso das atividades e valor setado na temperatura dos condicionadores de ar, entretanto em pelo menos nove meses do ano se torna possível obter uma economia apreciável. Dessa forma, o que influencia predominantemente o consumo é a inexistência de qualquer controle do uso dos condicionadores, com o funcionamento de aparelhos em salas que não estão sendo utilizadas para as aulas.

4.2 Análise dos métodos prescritivos da carga térmica

Nesta seção são apresentados os resultados da carga térmica das salas de aulas de acordo com cada método empregado. Ao comparar a potência instalada em cada uma das salas com os resultados do cálculo da carga térmica de acordo com os métodos prescritivos descritos por Negrisoli (1987), Creder (2004a), Creder (2004b) e pela NBR 16401 (2008), foi possível observar que 31,59% dos valores calculados da carga térmica são iguais ou próximos da potência instalada; 42,10% dos valores são maiores e 26,31% são menores.

Em relação aos métodos de cálculo, cabe destacar que o método de Negrisoli (1987) não leva em consideração explicitamente fatores que venham a influenciar na carga térmica, como por exemplo, a condutância térmica dos materiais, o posicionamento da edificação, etc. Apesar deste método ser menos rigoroso no cálculo, mesmo assim considera carga térmica proveniente das pessoas, iluminação e janelas envidraçadas em seu procedimento, parâmetros mínimos imprescindíveis em cálculos de carga térmica.

O método de Creder (2004b) calcula a carga térmica total dividindo-a em parcelas que são introduzidas no recinto por meio de condução, insolação, dutos, pessoas, equipamentos, infiltração e ventilação, podendo ser considerado o mais aceitável para estimativas de cálculo, mesmo fazendo uso de tabelas antigas, quando comparado ao método da NBR 16401 (2008), pois estas parcelas interferem significativamente na carga total do recinto. Este método conduz em geral a uma carga térmica maior em relação aos métodos anteriores descritos, pois leva em conta um número maior de variáveis, em particular o item sobre ventilação, que é o ar a ser renovado, exigido por norma, elevando significativamente a carga térmica total dos ambientes.

No método constante na NBR 16401 (2008) leva-se em consideração as cargas térmicas como a renovação do ar no ambiente, carga por condução e insolação das paredes do envelope construtivo. Os valores referentes à condutividade térmica dos materiais, os dados de temperatura e umidade absoluta foram os mesmos utilizados no método de Creder (2004b), de modo que se possa compará-los.

Os procedimentos de cálculo da NBR 16401 (2008) referenciam a ASHRAE (*AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS*- Associação Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado); os autores Lamberts (1997) e Menezes (2010) em seus trabalhos traduziram as metodologias da ASHRAE. Nesta pesquisa, as fórmulas basearam-se nestes autores em consonância com a ASHRAE. Utilizou-se dados de radiação solar incidente na latitude 17° (sul) de Frota (2001), cuja latitude é a que mais se aproxima da latitude do local de estudo (Cuiabá, latitude 15°).

4.3 Simulação computacional da carga térmica no *Energyplus*

Foram feitas simulações no *EnergyPlus* (2018) ao longo de um dia de projeto e ao longo do ano, utilizando o arquivo climático SWERA para Cuiabá. O Edifício foi dividido em 12 zonas térmicas e simuladas as cinco salas de aula do pavimento superior, as mesmas que receberam a automatização dos condicionadores de ar.

Dividir uma edificação em zonas térmicas possibilita analisar separadamente a resposta termoenergética de diferentes ambientes da mesma edificação, permitindo reproduzir as condições reais dos ambientes, pois cada uma das salas possui sistemas individuais de condicionamento de ar e, assim, efetuaram-se o cálculo da carga térmica para tais ambientes. Nos métodos prescritivos, a carga térmica foi calculada para o dia 22 de dezembro, dessa forma foi simulado no Energyplus (2018) um sistema de condicionador de ar *split* para este dia. A Tabela 2 apresenta as cargas térmicas de pico simuladas no

Energyplus(2018) para o mês de Dezembro comparado com as cargas térmicas encontradas nos métodos prescritivos.

De acordo com a Tabela 2 os valores da carga térmica simulada pelo Energyplus(2018) apresentaram valores abaixo das cargas instaladas, excetuando-se a sala 122. As cargas térmicas simuladas são inferiores em relação com as obtidas através dos métodos prescritivos de Creder (2004b) e com a NBR 16401(2008), no entanto as cargas térmicas são superiores quando aplicados os métodos estimativos de Negrisoli(1987) e Creder(2004a). Na simulação anual, o mês de dezembro apresentou a maior carga térmica quando comparada aos demais meses, tratando-se do início do verão.

Tabela 2– Comparação dos métodos prescritivos de carga térmica *versus* simulação no *EnergyPlus*.

Salas	BTU/h					
	Instalada	Creder (2004a)	Negrisoli (1987)	Creder (2004b)	NBR 16401(2008)	*EnergyPlus*
118	124.800	62.184,45	60.111,63	116.693,17	145.375,59	95.262,52
119	124.800	62.202,31	60.111,63	119.570,14	147.536,41	90.145,69
120	124.800	56.779,98	39.671,73	132.292,23	139.082,24	82.028,29
121	124.800	56.779,98	39.671,73	130.923,42	136.566,65	78.009,18
122	31.200	28.241,91	19.560,46	70.710,54	82.216,16	50.307,99

Conforme os resultados obtidos, pode-se observar que a NBR 16401(2008) apresentou maiores cargas internas que os demais métodos. Os procedimentos de cálculo da norma brasileira baseiam-se na ASHRAE. Devido ao envelope construtivo receber sombreamento através dos corredores, inibindo a incidência da radiação solar direta nas paredes, houve uma diminuição da carga térmica das salas por simulação, nos métodos prescritivos o sombreamento dos corredores não foi considerado. O modelo computacional permite representar melhor a orientação e a incidência da radiação solar na edificação, e por seguinte, influencia na carga térmica recebida pelas superfícies opacas e vidros.

4.4. Classificação da Eficiência Energética dos condicionadores de ar segundo o RTQ-C

A avaliação do nível de eficiência energética dos condicionadores de ar do bloco em estudo seguiu as especificações do Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) e do Regulamento de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RAC-C), dos requisitos de avaliação e os esclarecimentos do manual para aplicação do RTQ-C e RAC-C.

No presente trabalho foi realizada a avaliação apenas do condicionamento de ar, portanto, sendo assim o único requisito abordado. De acordo as análises e cálculos realizados, o bloco em estudo possui eficiência B segundo o RTQ – C no requisito relacionado ao sistema de condicionamento de ar. Para que esta eficiência seja aumentada, é necessário substituir os equipamentos de menores eficiências (C, D e E) por equipamentos com maior eficiência, preferencialmente A.

4.5. Automatização dos condicionadores de ar

Na primeira medida para economia de energia elétrica, as medições após a automatização dos condicionadores de ar com o acionamento ou desligamento de acordo com o horário dos turnos das aulas totalizaram 2.640,21 kWh, representando redução de 39,17% em relação ao consumo sem automatização.

A segunda medida para economia de energia elétrica foi implementada com a utilização de módulos de automação, através da automatização dos condicionadores de ar com o acionamento de acordo com o cronograma de utilização das salas. Ressalta-se que a medida anterior (Estratégia 1) já se obteve um ganho significativo, mas com esta medida a economia é maior, pois nem todas as salas de aulas funcionam em todos os períodos. Após a implantação da automatização dos condicionadores de acordo com o cronograma de horário das salas, o consumo total da energia elétrica com esta medida foi de 2.088,35 kWh, representando uma economia de 51,88%.

A Tabela 3 apresenta os consumos após a automatização de acordo com cada estratégia para redução do consumo.

Tabela 3 – Consumo de energia elétrica no período de 1 mês de medição com automatização de acordo com cada medida de eficientização.

Período	Sem automatização (kWh)	Estratégia 1 (kWh)	Estratégia 2 (kWh)
7:31 às 11:30	906,04	836,49	630,29
11:31 às 13:30	527,14	0	0
13:31 às 17:30	1.153,42	1.056,47	1.021,15
17:31 às 18:00	131,64	0	0
18:01 às 22:00	853,07	747,25	436,91
22:01 às 7:30	768,75	0	0
Total	**4.340,06**	**2.640,21**	**2.088,35**

Conforme Tabela 3, o consumo na estratégia 2 foi inferior por esta ser baseada nos horários de funcionamento das salas, isto é, a ocupação das salas varia conforme o dia da semana, por isso nem todas as salas de aulas precisam dos condicionadores ligados, representando uma economia de 20,90% quando comparada a estratégia 1, que é baseada nos períodos normais (matutino, vespertino e noturno) de uso das salas. Conforme já mencionado, a estratégia 1 obteve redução de 39,17% e a estratégia 2 permitiu uma redução de 51,89% quando comparadas com a medição sem automatização.

A Tabela 4 apresenta a demanda média nos intervalos de 07h30min às 11h30min, 13h30min às 17h30min e 18h00min às 22h00min para cada caso, ou seja, sem automação (S/A), com automação conforme os turnos (1, Estratégia 1) e com automação de acordo com o cronograma de uso das salas (2, Estratégia 2) para cada dia da semana.

Tabela 4 – Demanda média para cada estratégia de automatização *versus* sem automação.

	7:31 às 11:30			13:31 às 17:30			18:01 às 22:00		
	S/A	**1**	**2**	**S/A**	**2**	**3**	**S/A**	**2**	**3**
Seg	7,80	7,11	5,90	13,12	12,95	11,32	9,44	9,03	8,87
Ter	9,70	7,79	7,11	12,39	11,95	7,56	10,54	8,53	3,36
Qua	11,52	8,56	7,02	14,63	13,54	8,80	12,10	7,49	2,21
Qui	11,00	7,63	2,43	14,68	12,67	12,18	13,45	8,76	7,09
Sex	11,15	9,65	6,85	12,40	12,71	12,19	8,36	7,96	2,37
Sab	5,46	5,24	2,79	6,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

S/A: Sem Automação
1: Com automação conforme os turnos das aulas (Estratégia 1);
2: Com automação conforme cronograma ocupação das salas (Estratégia 2).

5. CONCLUSÕES

O cálculo da carga térmica obtido através da simulação realizada através do Energyplus (2018), apontou que a potência de refrigeração instalada está em torno de 25% superior aos resultados da simulação, com exceção à sala 122, pois os aparelhos instalados estão com potência abaixo da carga térmica necessária.O emprego da automatização em condicionadores de ar é importante, pois tratam-se dos aparelhos, em geral, com maior consumo dentro deste tipo de edificação.

O Regulamento Técnico (RTQ-C), no requisito condicionador de ar exige que os aparelhos de condicionadores de ar estejam adequadamente dimensionados para carga térmica do ambiente. Assim, na avaliação da capacidade térmica dos condicionadores, realizaram-se cálculos da carga térmica em todos os ambientes, através dos três métodos prescritivos presentes na literatura nacional, norma brasileira, bem como lançou mão de simulação computacional, verificando-se diferentes e divergentes situações em relação à adequação das cargas térmicas instaladas na edificação em estudo.

Ao analisar as diferentes possibilidades de automação e controle para condicionadores de ar observou-se que o emprego do sistema de automatização que permite o acionamento e desligamento de acordo somente com o horário normal das aulas representou uma economia de 39,17%. Por outro lado, a automatização dos condicionadores de acordo com o cronograma de uso das salas alcançou uma economia de 51,88%, nos períodos medidos, sendo assim muito mais eficiente.

O emprego da automação em edificações não pode ser visto como a única solução para uso racional da energia elétrica, também é preciso levar em consideração o que se deseja controlar e se o sistema a ser controlado trará bons resultados energeticamente, sem ocasionar perda de conforto térmico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12010**: Condicionador de ar doméstico - Determinação do coeficiente de eficiência energética - Método de ensaio. ABNT. Rio de Janeiro. 1990.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220**: Desempenho Térmico de edificações. ABNT. Rio de Janeiro. 2008.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 16401-1**: (Instalações de ar condicionado - Sistemas centrais e unitários. Parte 1: Projetos das Instalações. ABNT. Rio de Janeiro. 2008.

ALAMIN, Yaser I. et al. **An Artificial Neural Network (ANN) model to predict the electric load profile for an HVAC system**. IFAC-papers online, [S.I.], v. 51, n. 10, p.26-31, 2018. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.06.231.

ASHRAE, AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (Atlanta). **Handbook of Fundamentals**. Atlanta: Ashrae, 2017. Cap. 1. p. 1.1-1.17.

CREDER, H. **Instalações de ar Condicionado**. Cálculo da Carga Térmica. 6ª Ed. Livros Técnicos e Científicos. Rio de Janeiro. 2004 b.

CREDER, H. **Instalações de ar Condicionado**. Estimativa de Carga Térmica de Verão. 6ª Ed.Livros Técnicos e Científicos. Rio de Janeiro. 2004 a.

DURANTE, L.C., SILVA, E. de C., JÚNIOR, R. A, NOGUEIRA, M. C. de J A. Arquitetura escolar e conforto ambiental em Cuiabá-MT. **Contribuições ao estudo em Conforto Ambiental na grande Cuiabá-MT**. Vol 1. Cuiabá. EdUnic. 2009.

UNITED STATES DEPARTAMENT OF ENERGY (DOE). (2018) **ENERGY PLUS**. Software para simulação de desempenho térmico das edificações. Disponível em: < https://energyplus.net/downloads>. Acesso em 19 Set. 2018.

EPE- Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço Energético Nacional**. Ano Base 2017, Rio de Janeiro-RJ, 2018.

HENSEN, Jan L. M.; LAMBERTS, Roberto (Org.). **Building Performance Simulation for Design and Operation**. London: Spon Press, 2011. 507 p.

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **Coeficiente de Eficiência Energética em condicionador de ar janela**. Disponível em: <http://inmetro.gov.br>. Acesso em: 08/02/2012.

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **Coeficiente de Eficiência Energética em condicionadores de ar Split Hi-Wall**. Disponível em: <http://inmetro.gov.br>. Acesso em: 08/02/2012.

KRAUSE, C. B., RODRIGUES, J. A., MAIA, J. L., PACHECO, L. F., AMÉRICO, M. & TEIXEIRA, P. **Manual de prédios públicos eficientes em energia elétrica**. IBAM/ELETROBRÁS/PROCEL. Rio de Janeiro, 2002.

LAMBERTS, R., DUTRA, L. & PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**, p.192, Pro Livros. São Paulo. 1997.

NEGRISOLI, M. (1987). **Instalações Elétricas** - Projetos Prediais em Baixa Tensão. Editora Edgar Blücher Ltda. Rio de Janeiro.

NEOCONTROL. **Manual Técnico de Instalação**. Belo Horizonte, 2009. Disponível em: <http://neocontrol.com.br>. Acesso em 11/10/2011.

PROCEL EDIFICA. **Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações**. Disponível em http://www.eletrobras.com/pci/main.asp acessado em: 10 de setembro de 2011.

RTQ-C (2010). **Manual de aplicação do Regulamento técnico da qualidade do nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos**. Disponível em: <http://www.eletrobras.com/ > Acesso em: 10 setembro. 2011.

VIZZOTTO, M. R. **Análise do uso de estratégias para a melhoria de eficiência energética e do conforto térmico em edificações com sistemas de automação predial-residencial**. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2015.