



DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE AR CONDICIONADO PARA AS ÁREAS DE ESTUDO DA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

Kaio Farias de Moraes, kaiofariasdemorais@gmail.com¹
Vinícius Soares Medeiros, viniciussoaresjn@hotmail.com²
José Ricardo Ferreira Oliveira, jose.ricardo@ufu.br²
Yoge Jerônimo Ramos da Costa, yoge.jeronimo@ufcg.edu.br¹

¹Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Engenharia Mecânica, Av. Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, CEP 58429-900, Campina Grande - PB.

²Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Av. João Naves de Ávila, 2121, Santa Mônica, CEP 38400-902, Uberlândia - MG.

Resumo. *A busca pelo conforto térmico por parte das pessoas é cada vez maior, principalmente em regiões com climas tropicais. O uso dos condicionadores de ar é uma das alternativas mais utilizadas para a obtenção de ambientes confortáveis, tais como: restaurantes, bibliotecas, escritórios, auditórios, bancos, etc. Porém, esse sistema de climatização de ambientes tem algumas desvantagens consideráveis, como demandas elevadas de energia elétrica e baixa eficiência, quando o dimensionamento do equipamento é inadequado. Diante do exposto, os autores, através do trabalho em questão, têm como objetivo dimensionar um sistema de ar condicionado para a biblioteca central da Universidade Federal de Campina Grande. Foram feitas todas as considerações julgadas importantes para efeito de cálculo da carga térmica, utilizando os valores de ganho de calor nas situações críticas a que o ambiente está exposto e tomando como base para conforto a norma NBR 6401. Diante dos resultados obtidos no cálculo do fluxo total de calor para o ambiente em estudo, concluiu-se que a maior parte do ganho térmico se dá pela insolação através das janelas, uma vez que as mesmas têm uma área de troca de calor muito grande e não possuem uma proteção adequada que reduza essa parcela de calor sensível. Para esta ocasião optou-se pela utilização de Splits, uma vez que esses aparelhos apresentam um bom rendimento, com custos de instalação e manutenção considerados baixos.*

Palavras chave: *Conforto Térmico, Ar Condicionado, Carga Térmica, NBR 6401, Split.*

1. INTRODUÇÃO

Recentemente, diversos pesquisadores (Mossolly *et al.*, 2009; Al-Abidi *et al.*, 2012; Chua *et al.*, 2013) empreenderam esforços em projetos para conforto térmico, visando sistemas cada vez mais eficientes e ecologicamente corretos. A carga térmica, parâmetro a ser determinado neste tipo de projeto, é a quantidade de calor sensível e latente que deve ser retirada ou introduzida em um determinado ambiente. Ela pode ser introduzida num recinto por: condução, insolação, dutos, pessoas, equipamentos, infiltração e ventilação (Creder, 2004; Stoecker, W. F. e Saiz Jabardo, 2002). A ASHRAE estabelece que, em média, um ambiente pode ser considerado confortável termicamente quando cerca de 80% dos ocupantes manifestam aceitação pelas condições ambientais (Oliveira, 2003).

Os condicionadores de ar do tipo *Split* são compostos por 1 condensador e 1 evaporador. Enquanto a primeira é instalada na parte externa e realiza todo o procedimento de condensação, a segunda é a responsável pela evaporação do gás no ambiente interno retirando todo calor ali introduzido. Os aparelhos Split possuem um consumo de energia 40% menor do que os do tipo compacto e ainda possuem eficiência e rendimento maiores. que os aparelhos de janela.

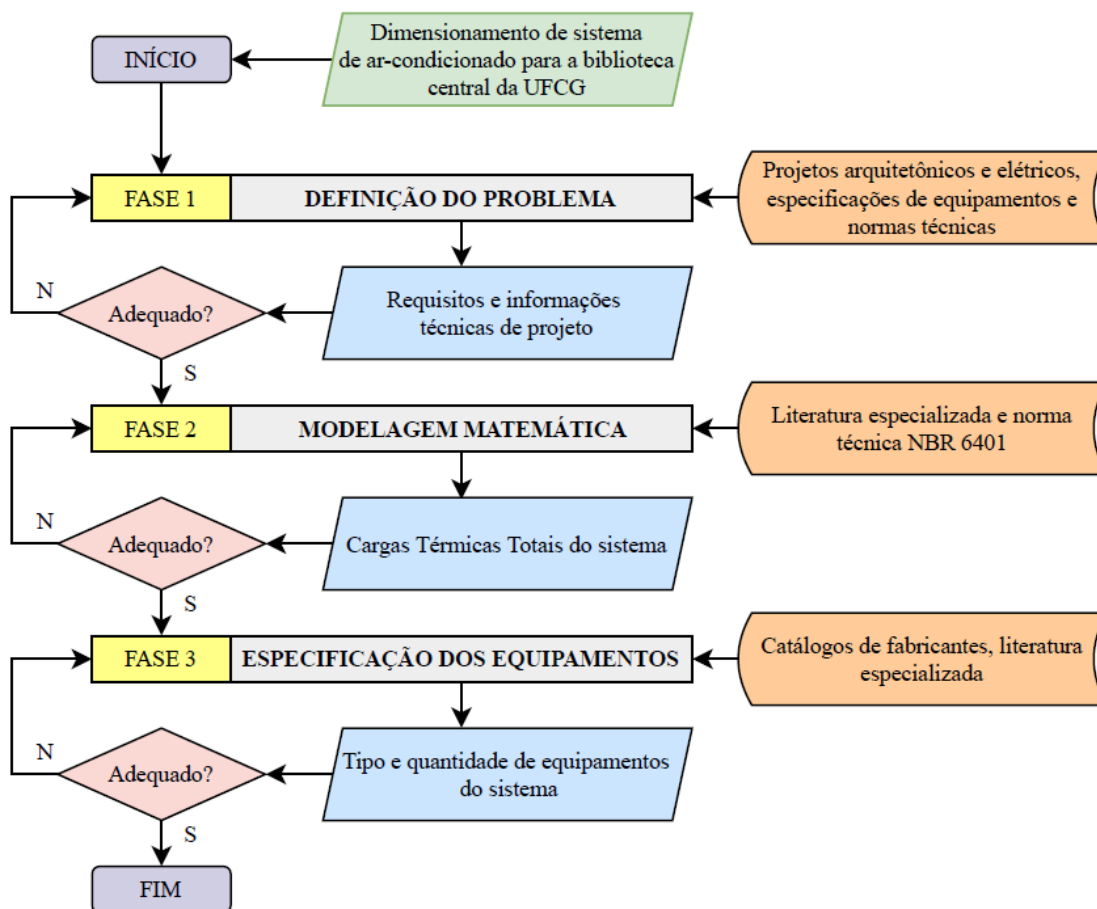
Através do presente trabalho, os autores têm como objetivo dimensionar um sistema de ar condicionado para as áreas de estudo da biblioteca central da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Foram realizadas análises comparativas do ambiente a ser condicionado, tomando como referência um modelo base. Foram sugeridas alterações no controle de iluminação, sombreamento externo, uso de prateleiras de luz e películas nos vidros, visando aperfeiçoar o conforto térmico e o consumo energético.

2. METODOLOGIA

A metodologia de projeto do sistema de ar-condicionado para a biblioteca central da UFCG compreende 3 fases, conforme o fluxograma da Fig. 1. Os requisitos de projeto são obtidos na 1ª fase, delimitando o objeto do estudo, mediante consulta aos projetos arquitetônicos e elétricos dos locais avaliados, especificações de equipamentos instalados no local (computadores, impressoras, etc.), além de consulta às normas técnicas pertinentes. Na Fase 2,

Modelagem Matemática, as cargas térmicas totais requeridas são determinadas atendendo à norma NBR 6401, que trata dos parâmetros básicos de projeto para instalações de ar-condicionado para conforto térmico, além de consulta à literatura técnica especializada. A Modelagem Matemática do sistema de ar condicionado encontra-se detalhada ao longo desta seção. Por fim, na Fase 3, o tipo e a quantidade de equipamentos são especificados.

Figura 01 - Metodologia utilizada no trabalho



2.1. Descrição das áreas de estudo da Biblioteca da UFCG

A partir das plantas arquitetônicas da Biblioteca Central da UFCG foram determinados os dados geométricos necessários para o dimensionamento do Sistema de Ar Condicionado, os quais são listados em Tab 1 e Tab 2.

As temperaturas de bulbo seco no interior e no exterior foram determinadas experimentalmente, sendo realizadas medições em três horários diferentes do dia, tomando os valores críticos para efeito de cálculo. As temperaturas de 28 e 38 °C foram adotadas para o interior e o exterior, respectivamente. Para a umidade relativa utilizou-se 77 %, sendo esse valor baseado na norma NBR 6401, a qual especifica as condições externas recomendadas para inverno.

Tabela 1. Dados geométricos relacionados à área de estudo 1 da biblioteca da UFCG.

Área de Estudo 1	Dimensões
Área do Teto	563,00 m ²
Área Total da Parede	458,13 m ²
Altura do Pé Direito	3,75 m
Janela J4	1,75 x 2,75 m
Janela J5	0,40 x 2,75 m
Janela J8	2,65 x 2,75 m
Janela J9	2,70 x 2,75 m
Janela J12	1,80 x 0,60 m

Tabela 2. Dados geométricos relacionados à Área de Estudo 2 da biblioteca da UFCG.

Área de Estudo 2	Dimensões
Área do Teto	83,60 m ²
Área Total da Parede	106,12 m ²
Altura do Pé Direito	3,75 m
Janela J4	1,75 x 2,75 m
Janela J5	0,40 x 2,75 m

2.2 Modelagem Matemática: Cálculo da Carga Térmica Total

2.2.1 Carga de condução - calor sensível

Para calcular a carga térmica por condução utilizou-se a Eq. 1.

$$Q = AUDt \quad (1)$$

onde Q é a taxa de calor (kcal.h⁻¹), A é a área (m²), U é o coeficiente global de transmissão de calor (kcal.h⁻¹.m⁻².°C⁻¹) e Dt é a diferença de temperatura entre as superfícies em °C.

As paredes e o teto são considerados não homogêneos, por possuírem diferentes materiais em sua construção, como: tijolos, reboco, etc. Para obter cálculos mais precisos, foi utilizado o método das resistências térmicas de transferência de calor de cada material que compõem as paredes e o teto. O somatório dos inversos das condutividades e condutâncias, como as resistências em série de um circuito elétrico, representam a Resistência Total (R), sendo que o inverso de R é representado por U , conforme Eq. 2.

$$U = \frac{1}{R} \quad (2)$$

Tomando como base o conceito de resistência total (R) e aplicando para a parede e para o teto, determinam-se Eq. 3 e Eq. 4, para posteriormente determinar o coeficiente global de transmissão de calor.

$$R = \frac{1}{h_{ar_exterior}} + \frac{1}{C_{emboço}} + \frac{1}{k_{tijolo}} + \frac{1}{C_{emboço}} + \frac{1}{h_{ar_interior}} \quad (3)$$

$$R = \frac{1}{h_{ar_interior}} + \frac{1}{k_{laje}} + \frac{1}{C_{emboço}} + \frac{1}{h_{ar_interior}} \quad (4)$$

Para as janelas com vidros utilizou-se $U = 5,18$ kcal.h⁻¹.m⁻².°C⁻¹ (vidro simples) e $Dt = 10$ °C. Para as paredes externas (área total da parede retirando a área total das janelas) procedeu-se como sendo ar exterior à 24 km/h ($h = 29,3$ kcal.h⁻¹.m⁻².°C⁻¹), ar interior parado ($h = 7,13$ kcal.h⁻¹.m⁻².°C⁻¹), reboco no interior e no exterior de 2 cm ($C = 2,39$ kcal.h⁻¹.m⁻².°C⁻¹), tijolo comum de uma vez ($k = 1,11$ kcal.h⁻¹.m⁻¹.°C⁻¹) e $Dt = 10$ °C, e para o teto foi considerado laje de 8 cm de espessura de concreto com areia e brita ($k = 1,48$ kcal/h . m . °C), reboco no interior de 2 cm ($C = 2,39$ kcal.h⁻¹.m⁻².°C⁻¹) e ar interior parado ($h = 7,13$ kcal.h⁻¹.m⁻².°C⁻¹), em ambos os lados, e $Dt = 6,1$ °C. Todos os dados foram obtidos de Creder (2004).

2.2.2 Carga de Insolação - calor sensível

Em geral, a energia solar é a responsável pela maior parcela de carga térmica em projetos de condicionadores de ar, sendo muitas vezes transmitida por radiação e/ou convecção. Mesmo que tenha o total conhecimento da quantidade de calor transmitida por radiação e convecção solar, a parcela introduzida ao ambiente não é bem conhecida, uma vez que todas as tabelas estimam satisfatoriamente os cálculos utilizados na prática para dimensionamentos de ar condicionados. A partir da planta arquitetônica foi possível verificar a posição geográfica do recinto determinando mais especificamente a quantidade de calor solar transmitida pelas janelas e paredes para cada orientação.

Para o cálculo da carga térmica de insolação através das janelas foi utilizado o método de Creder (2004), considerando que os valores do fator solar foram obtidos por ensaios, supondo-se que os vidros das janelas não têm proteção. Foi considerado o fator solar máximo, o qual está submetido a janela, para cada orientação geográfica, conforme Tab. 1. A carga térmica ganha por insolação através de janelas pode ser calculada através da Eq. 5 onde A é a área de troca de calor em m².

Tabela 3. Fator Solar máximo em função de cada posição geográfica.

Orientação Geográfica	Fator Solar (kcal.h ⁻¹ .m ⁻²)
Oeste	448
Leste	489
Norte	229
Sul	98

$$Q = A \times \text{Fator Solar} \tag{5}$$

A transferência de calor por energia solar através de paredes, lajes e telhados ocorre por condução e convecção, conforme Eq. 6.

$$Q = A \times U [(t_e - t_i) + \Delta t] \tag{6}$$

onde Q é a taxa de calor (kcal.h⁻¹), A é a área (m²), U é o coeficiente global de transmissão de calor (kcal.h⁻¹.m⁻².°C⁻¹), t_e é a temperatura do exterior (°C), t_i = temperatura interior (°C) e Δt é o acréscimo ao diferencial de temperatura, conforme Tab. 4. Adotou-se cor média para as paredes externas das Áreas de Estudo da biblioteca como base para determinar o acréscimo ao diferencial de temperatura ($Dt = t_e - t_i$) e consequentemente a parcela de ganho de calor através das superfícies opacas.

Tabela 4. Acréscimo ao diferencial de temperatura em relação a orientação geográfica.

Orientação Geográfica	Δt (°C)
Oeste	11,10
Leste	11,10
Norte	5,50
Sul	0,00

2.2.3 Carga devido às pessoas - calor sensível e calor latente

A carga térmica devido às pessoas foi determinada mediante a temperatura do recinto e a intensidade da atividade a qual estas estão submetidas. Determina-se então a quantidade de calor sensível e latente emitido por cada pessoa, tomando como base os valores da norma NBR-6401. Considerou-se que as pessoas presentes no ambiente estão sentadas ou em movimento lento, utilizando-se para fins de cálculos o calor sensível e latente igual a 50,2 kcal.h⁻¹ por pessoa. Para determinar a quantidade de pessoas presentes no recinto considerou-se a ocupação de uma pessoa a cada 5,50 m² de área (CREDER, 2004), estimando um total de 103 pessoas para a Área de Estudo 1 e 16 pessoas para a Área de Estudo 2. Com isso determinou-se a quantidade total de calor sensível e calor latente liberada pelas pessoas.

2.2.4 Carga devido à iluminação - calor sensível

A informação da quantidade de lâmpadas instaladas em cada ambiente, assim como a especificação da potência de 40 W para cada lâmpada, foram fornecidas pela Prefeitura Universitária da UFCG, totalizando 147 e 26 lâmpadas fluorescentes, para as Áreas de Estudo 1 e 2, respectivamente. O acionamento das lâmpadas é feito com a utilização de um reator que acrescenta cerca de 20 % de carga adicional. Para ter a carga térmica em kcal.h⁻¹, usou-se o fator de conversão: 1 kWh = 860 kcal. A partir da Eq. 7 calcula-se a carga total devido à iluminação fluorescente.

$$q = \text{total de Watts} \times \text{fator devido ao reator} \tag{7}$$

2.2.5 Carga devido à infiltração - calor sensível e latente

O cálculo da carga térmica devido à infiltração de ar foi realizado pelo método das frestas, considerando janela comum e utilizando a vazão de ar infiltrado pelas frestas no ambiente igual a 3,0 m³.h⁻¹ por metro de fresta (CREDER, 2004). A vazão total de ar se dá pela multiplicação do comprimento linear das frestas pela vazão de ar por metro de fresta. Para a Área de estudo 1, o comprimento linear das frestas foi de 425,5 m e a vazão total foi de 1276,5 m³.h⁻¹, para a Área de estudo 2 da biblioteca o comprimento linear igual a 96,3 m com uma vazão de 288,9 m³.h⁻¹. Os calores sensível (q_s) e latente (q_L) foram determinados por Eq. 8 e Eq. 9.

$$q_s = V \times 0,29(t_e - t_i) \quad (8)$$

$$q_L = 583 \times C \quad (9)$$

$$C = (UE_2 - UE_1) \times Y \times Q \quad (10)$$

onde V é a vazão volumétrica total de ar infiltrado ($m^3.h^{-1}$), t_e e t_i são respectivamente as temperaturas externas e internas ($^{\circ}C$), UE_2 e UE_1 são respectivamente as umidades específicas do ar no interior e na entrada ($Kg.Kg^{-1}$ de ar seco), e Y é o peso específico do ar ($Kg.m^{-3}$). As umidades específicas foram determinadas através do software *Computer Aided Thermodynamics Tables* (CATT), utilizando as temperaturas dentro e fora do recinto e a umidade relativa como dados de entrada. Para a temperatura externa obteve-se $UE_1 = 0,033 Kg.Kg^{-1}$ e para a temperatura interna $UE_2 = 0,018 Kg.Kg^{-1}$, tomando o peso específico $Y = 1,2 Kg.m^{-3}$.

2.2.6 Carga devido à ventilação - calor sensível e latente

Para a carga de ventilação o ar de ventilação toma-se como base a norma NBR 6401 que especifica a vazão de ar em m^3/h por Pessoa. No estudo em questão adotou-se o ar exterior para ventilação para aplicações gerais por pessoa (não fumando) com $V = 13 m^3.h^{-1}$ por pessoa.

Tem-se então a vazão de $1339 m^3.h^{-1}$, para a Área de Estudo 1 com 103 pessoas, e $208 m^3.h^{-1}$ para a Área de Estudo 2 com 16 pessoas presentes no recinto. A partir daí pode-se determinar a quantidade de calor sensível e latente devido a ventilação assim como a carga de infiltração.

2.2.7 Carga térmica total

Sabe-se que a carga térmica é representada pelo calor sensível e calor latente que é introduzido ao recinto por condução, insolação, dutos, pessoas, equipamentos, infiltração e ventilação. Logo, somando o calor sensível total com o calor latente total tem-se a carga térmica total, que será representada pela quantidade de calor a ser retirada do recinto a fim de obter conforto térmico desejado pelas pessoas. Como coeficiente de segurança, utilizado para cobrir um eventual ganho de calor no recinto, acrescenta-se mais 10 % à carga térmica total.

Normalmente deseja-se o resultado dos cálculos expressos em toneladas de refrigeração (TR), por atender as unidades técnicas dos fabricantes de ar condicionados. Para isso, o resultado da carga térmica total, em $kcal.h^{-1}$, é dividido por $3024 kcal.h^{-1}$.

2.3 Melhorias propostas

Além do dimensionamento de um sistema de ar condicionado para as Áreas de Estudo da biblioteca da UFCG, o presente trabalho propõe melhorias para redução das quantidades de calor sensível e latente transferidas ao recinto. Uma das principais medidas seria o uso de proteções para janelas, como toldos, filme, persianas, cortinas, etc., evitando o ganho térmico por insolação, uma vez que este, em geral, representa a maior parcela do ganho térmico no ambiente.

Para tal, analisou-se o emprego de toldos, com coeficiente de redução de 0,20, persianas internas e refletoras, com 0,50 de redução, e cortinas internas brancas (opacas), com 0,61 de diminuição no ganho térmico solar. Analisou-se a redução no ganho por insolação e a variação na carga térmica total, bem como o impacto no preço dos equipamentos para atender as necessidades de se obter conforto térmico.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Carga de condução

Com base nos valores das áreas das paredes e das janelas, obtidas a partir da planta arquitetônica, do coeficiente global de transferência de calor (U), das diferenças de temperaturas (Dt) e de acordo com a Eq. 1, pôde-se obter as Tabelas 5 e 6, que representam os valores do ganho de calor por condução para as Áreas de Estudo 1 e 2.

Tabela 5. Carga térmica por condução em $kcal.h^{-1}$ da área de estudo 1 da biblioteca da UFCG.

Descrição	Área (m^2)	U ($kcal.h^{-1}.m^2.^{\circ}C^{-1}$)	Dt ($^{\circ}C$)	Calor sensível $kcal.h^{-1}$
Janelas com vidro	238,93	5,18	10,00	12376,57
Parede excluindo janela	219,20	0,84	10,00	1841,28
Teto ou telhado	563,00	1,32	6,10	4533,27
Total de carga térmica de condução				18751,13

Tabela 6. Carga térmica por condução em kcal.h⁻¹ da área de estudo 2 da biblioteca da UFCG.

Descrição	Área (m ²)	U (kcal.h ⁻¹ .m ⁻² .°C ⁻¹)	Dt (°C)	Calor sensível kcal.h ⁻¹
Janelas com vidro	68,47	5,18	10,00	3546,74
Parede excluindo janela	37,65	0,84	10,00	316,26
Teto ou telhado	83,60	1,32	6,10	673,14
Total de carga térmica de condução				4536,15

Observa-se que o maior ganho térmico por condução é dado através das janelas de vidro, uma vez que as mesmas são consideradas sem proteção e sua resistência ao calor por condução é muito baixa, fazendo com que seu coeficiente global de transferência de calor (U) seja elevado.

3.2 Carga de insolação

Com base nas Eq. 5 - 6 utilizadas para insolação através das janelas, paredes e tetos, respectivamente, determinou-se o calor sensível que é introduzido ao recinto por insolação. Percebe-se que a carga térmica por insolação representa a maior parcela de calor transferida para o meio, o que condiz com a literatura. Pelas Tabelas 7 e 8 tem-se que o maior ganho por insolação é através das janelas, em função da área total exposta à radiação e da falta de proteção nas mesmas.

Tabela 7. Calor sensível por condução em kcal.h⁻¹ da área de estudo 1 da biblioteca da UFCG.

	Descrição	Área (m ²)	Fator Solar (kcal.h ⁻¹ .m ⁻²)	U(kcal/h m ² °C)	DT (°C)	Calor Sensível (kcal.h ⁻¹)
Janelas	voltadas p/oeste	9,46	448,00			4238,08
	voltadas p leste	37,00	489,00			18093,00
	voltadas p/norte	86,62	229,00			19835,98
	voltadas p/sul	105,87	98,00			10375,26
Paredes	voltadas p/oeste	57,18		0,84	21,10	1013,45
	voltadas p/leste	48,56		0,84	21,10	860,67
	voltadas p norte	152,28		0,84	15,50	1982,68
	voltadas p sul	53,36		0,84	10,00	448,22
Total de carga térmica de insolação						56847,36

Tabela 8. Calor sensível por condução em kcal.h⁻¹ da Área de Estudo 2 da biblioteca da UFCG.

	Descrição	Área (m ²)	Fator Solar (kcal.h ⁻¹ .m ⁻²)	U(kcal/h m ² °C)	DT (°C)	Calor Sensível (kcal.h ⁻¹)
Janelas	voltadas p/oeste	1,10	448,00			492,80
	voltadas p/leste	0,00	489,00			0,00
	voltadas p/norte	19,25	229,00			4408,25
	voltadas p/sul	28,87	98,00			2829,26
Paredes	voltadas p/oeste	31,12		0,84	21,10	551,57
	voltadas p/leste	0,00		0,84	21,10	0,00
	voltadas p/norte	30,00		0,84	15,50	390,60
	voltadas p/sul	45,00		0,84	10,00	378,00
Total de carga térmica de insolação						9050,48

3.3 Carga devido às pessoas e à iluminação

De acordo com o total de pessoas em cada recinto e com a intensidade da atividade realizada por cada uma obteve-se um ganho térmico total devido às pessoas de 5170,60 kcal.h⁻¹ e 803,2 kcal.h⁻¹, para a área de estudo 1 e 2, respectivamente. Os valores transmitidos de calor é o mesmo, tanto para o calor sensível como para o calor latente.

Tomando o total de lâmpadas e a potência para cada lâmpada, com o fator devido ao reator para lâmpadas fluorescentes, obteve-se o ganho térmico devido à iluminação. Utilizando-se a Equação (7) obteve-se um total de calor sensível de 6068,16 kcal.h⁻¹, para a Área de Estudo 1, e 1078,25 kcal.h⁻¹, para a Área de Estudo 2.

3.4 Carga de infiltração

Utilizando o método das frestas e tomando as Equações (8) e (9), para determinar a quantidade de calor sensível e latente, respectivamente, transmitido ao recinto por infiltração, obteve-se a Tab. 9.

Tabela 9. Calor sensível e latente para as áreas de estudo 1 e 2 em kcal.h⁻¹.

Áreas	Calor sensível	Calor latente
Área de Estudo 1	3701,85	4467,19
Área de Estudo 2	837,81	3031,71

3.5 Carga de ventilação

Para o cálculo de calor sensível e latente por ventilação utilizam-se as Eq. 8 e 9, assim como para a carga de infiltração. Com base nos dados fornecidos pela norma NBR 6401 para aplicações gerais por pessoa não fumante, obteve-se um calor sensível de 3883,1 kcal.h⁻¹ e um calor latente de 14051,46 kcal.h⁻¹, para a área de estudo 1, e calor sensível de 603,20 kcal.h⁻¹ e um calor latente de 2182,75 kcal.h⁻¹, para a área de estudo 2.

3.6 Carga térmica total

Fazendo o somatório tem-se o total de calor sensível e calor latente, e por sua vez somando as duas parcelas resulta na carga térmica total que é de 118.111,45 kcal.h⁻¹ e 20140,8 kcal.h⁻¹, para as áreas de estudo 1 e 2, sequencialmente. Através das Tabelas 10 e 11 pôde-se analisar um resumo de todos os ganhos de calor considerados nos recintos em questão.

Tabela 10. Resumo dos ganhos de calor na área de estudo 1 em kcal.h⁻¹.

Descrição	Calor sensível	Calor latente	Percentual
Condução	18751,13		15,88 %
Insolação	56847,36		48,13 %
Pessoas	5170,60	5170,60	8,76 %
Equipamentos	6068,16		5,14 %
Infiltração	3701,85	4467,19	6,92 %
Ventilação	3883,10	14051,46	15,18 %
Total sensível	94422,2		79,94 %
Total Latente		23689,25	20,06 %
Calor Total	118111,45		100,00 %

Tabela 11. Resumo dos ganhos de calor na área de estudo 2 em kcal.h⁻¹.

Descrição	Calor sensível	Calor latente	Percentual
Condução	4536,15		19,79 %
Insolação	9050,48		39,48 %
Pessoas	803,20	803,20	7,01 %
Equipamentos	1078,25		4,70 %
Infiltração	837,81	3031,71	16,88 %
Ventilação	603,20	2182,75	12,15 %
Total Sensível	16909,09		73,75 %
Total Latente		6017,66	26,25 %
Calor Total	22926,75		100,00 %

Em cálculos de carga térmica é indicado adotar um coeficiente de segurança para suprir eventualidades, uma vez que os valores considerados nos cálculos são estimados. Neste trabalho utilizou-se um coeficiente de segurança de 10 % do valor total da Carga Térmica Total calculada, resultando então para os ambientes 1 e 2: 129922,59 kcal.h⁻¹ e 25219,42 kcal.h⁻¹, ou 43,00 TR e 8,34 TR (Tonelada de Refrigeração), ou ainda 515578,77 BTUh⁻¹ e 100001,42 BTUh⁻¹ de calor transmitido aos recintos, respectivamente.

3.7 Especificação de equipamentos

O modelo de ar-condicionado do tipo Split foi o escolhido para este projeto, devido ao seu bom rendimento associado aos baixos custos de instalação e manutenção. Portanto, para a sala de estudos 1 indica-se a instalação de 23 aparelhos de 22000 BTU h^{-1} ; para a sala de estudos 2 indica-se a instalação de 5 aparelhos de 22000 BTU h^{-1} . Optou-se por aparelhos de mesma potência para ambas as salas, tendo em vista a manutenibilidade do sistema.

3.8 Sugestões de melhorias

Como sugestões de melhorias para diminuição da carga térmica por insolação nos recintos 1 e 2, propõe-se: a) Instalação de toldos com coeficiente de redução 0,20 do valor da carga por insolação, onde a quantidade de calor transmitida é $14813,48$ e $2866,23 \text{ kcal.h}^{-1}$, obtendo-se uma redução de cerca de 70 %; b) Instalação de persianas internas e refletoras com coeficiente de redução de 0,50 no ganho por insolação, onde os novos valores de carga térmica por insolação serão $30576,18$ e $5185,32 \text{ kcal.h}^{-1}$, reduzindo em 45 % o ganho térmico; c) Instalação de cortinas internas brancas (opacas) com coeficiente 0,6. Utilizando esta opção aplicada ao ganho por insolação têm-se $36355,83$ e $6035,66 \text{ kcal.h}^{-1}$ como novos valores de carga térmica por insolação, tendo uma redução de 35 % do valor inicial.

4. CONCLUSÕES

Dos resultados obtidos pode-se concluir que a maior parcela do ganho térmica introduzida ao recinto se dá por insolação, típico de regiões onde o clima é predominantemente tropical. A maior percentagem de calor introduzida no recinto por insolação ocorre através das janelas de vidros, uma vez que a área total das janelas em cada recinto é maior que a área das paredes laterais. Vale ressaltar também que as janelas são de vidros simples e não possuem nenhuma proteção contra a insolação. A utilização do coeficiente de segurança de 10% acrescentado à carga térmica total foi adequada para suprir erros provenientes das equações empíricas, das considerações feitas para a realização do trabalho e das variáveis adotadas nos cálculos.

Neste trabalho foi escolhido o sistema de ar condicionados do tipo *Split*, por ter um custo relativamente menor do que sistemas de central de ar em termos de instalações e manutenção. Vale ressaltar que o emprego de proteção para as janelas de vidro implica em redução significativa no ganho térmico através da transferência de calor por radiação solar, na ordem de 70 % para toldos, 45 % para persianas internas e refletoras e 35 % para cortinas internas opacas.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Prefeitura Universitária da Universidade Federal de Campina Grande, pelo fornecimento dos projetos arquitetônicos e elétricos e demais informações pertinentes da Biblioteca Central da referida universidade.

6. REFERÊNCIAS

- Al-Abidi, A. A., Mat, S. B., Sopian, K., Sulaiman, M. Y., Lim, C. H.; Th, A., 2012. "Review of thermal energy storage for air conditioning systems". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 16, p. 5802 - 5819.
- ABNT - Associação de Brasileira de Normas Técnicas, 1980. *NBR 6401 - Instalações centrais de ar-condicionado para conforto - Parâmetros básicos de projeto*. Rio de Janeiro-RJ.
- Chua, K.J., Chou, S.K., Yang, W.M., Yan, J., 2013. "Achieving better energy-efficient air conditioning - A review of Technologies and strategies". *Applied Energy*. Vol. 104, p. 87 - 104.
- Creder, H., 2004. *Instalações de ar condicionado*. LTC, Rio de Janeiro, 6ª edição.
- Mossolly, M., Ghali, K., Ghaddar, N., 2009. "Optimal control strategy for a multi-zone air conditioning system using a genetic algorithm". *Energy*, Vol. 34, p. 58 - 66.
- Oliveira, L. A., 2003. *Conforto térmico em edificações*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica. Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá-SP.
- Stoecker, W. F. e Saiz Jabardo, J. M., 2002. *Refrigeração Industrial*. Edgard Blücher, São Paulo-SP, 2ª edição.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.