



DECISÕES ARQUITETÔNICAS x POTÊNCIA INSTALADA PARA CONDICIONAMENTO DE AR: UM ESTUDO DE CASO

Sandra R. Botrel e Silva (1); Roberta Vieira G. de Souza (2)

(1) Engenheira Mecânica, Mestranda pelo MACPS – Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável – EA / UFMG - sandra@protherm.com.br

(2) Dra, Professora da Escola de Arquitetura / UFMG, robertavgs2@gmail.com
Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura,

LABCON - Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética no Ambiente Construído
Rua Paraíba, 697 – Funcionários / BH – MG, CEP 30130-140, Tel.: +55 31 34098825

RESUMO

O sistema de condicionamento de ar é responsável por uma grande parcela do consumo de energia em edificações condicionadas artificialmente, de modo que o seu dimensionamento é de fundamental importância quando se pensa na eficiência energética dos edifícios e na redução do consumo. Por outro lado, diversas decisões tomadas no desenvolvimento do projeto arquitetônico tem impacto direto no resultado do cálculo da carga térmica a ser combatida pelo sistema de Condicionamento de Ar. O presente estudo tem como objetivo apresentar a avaliação comparativa dos resultados do cálculo da carga térmica, bem como, o dimensionamento da capacidade, do tipo de sistema de condicionamento de ar e de sua potência elétrica, em função da alteração dos coeficientes de absorvância solar das superfícies. Para uma mesma edificação, foram feitas simulações do cálculo da carga térmica, bem como, as análises comparativas dos resultados da carga térmica e das opções para o sistema de Condicionamento de Ar, com o objetivo de verificar o impacto efetivo das decisões arquitetônicas no seu dimensionamento. Analisando os resultados obtidos, verificou-se que as reduções da carga térmica obtidas apresentaram percentuais diferentes da redução da potência elétrica instalada, uma vez que, em alguns casos, a variação não implicou em mudança do modelo do equipamento de condicionamento de ar.

Palavras-chave: eficiência, carga térmica, simulação.

ABSTRACT

The air conditioning system is responsible for a large share of energy consumption in artificially conditioned buildings, so that, his design has a fundamental importance when the energy efficiency of buildings is considered. On the other hand, several decisions made during the development of the architectural design have a direct implication in the results of the thermal loads considered in the dimensioning of the air conditioning system. This study intends to present a comparative evaluation of the results of the calculation of the thermal load, as well as, the calculating of the capacity, type of air conditioning system, and its electric power, due to the change of the surface absorvance coefficient in the simulation. For the same edification thermal load simulations were carried, as well a comparative analysis of the thermal load results and the options of the air conditioning systems, to check the real impact of the architecture decisions in their dimensioning. Analyzing the results it was verified that the reduction of the thermal load shows the different values from the electric power reduction, because the thermal loads reduction didn't change the specification of the air conditioning equipment.

Keywords: efficiency, cooling load, simulation

1. INTRODUÇÃO

O efeito do consumo de energia no aquecimento global é um dos motivos mais importantes para serem adotadas políticas de redução do consumo de energia elétrica. Segundo Cunha (2006), a condição para o desenvolvimento sustentável, mais do que qualquer mudança na produção de energia elétrica, é a redução do consumo.

Conforme Relatório Final do Balanço Energético Nacional 2012 - ano base 2011, elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética - EPE, verifica-se que os setores Residencial, Comercial e Público, juntos correspondem a 47% do consumo, assim distribuídos, Setor Residencial 23%, Setor Comercial 15,4% e Setor Público 8%. Numa edificação, o condicionamento de ar é um dos maiores responsáveis pelo consumo elétrico, correspondendo, em média, a 48% do uso final no setor comercial nacional, sendo que, nos edifícios de escritórios esse uso corresponde a 34% do consumo, segundo o PROCEL (LAMBERTS, 2004). Conclui-se, portanto, que o consumo energético de uma edificação condicionada está diretamente vinculado ao consumo do sistema de ar condicionado.

As primeiras normas de eficiência energética em edificações surgiram na década de 70, após a crise do petróleo. Diversos países lançaram programas de incentivo à redução do consumo de energia, resultando, posteriormente, na criação de normas de eficiência energética, como a Standard 90 – Energy Conservation in New Building Design e a norma californiana Title 24 de 1978. O Standard 90 – Energy Conservation in New Building Design foi a primeira norma de eficiência energética em edificações, elaborada como parte do programa dos EUA de incentivo à eficiência energética.

No Brasil, o racionamento de energia, ocorrido em 2001, foi o marco para promulgação da chamada Lei de Eficiência Energética, a Lei nº 10295, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, lei esta regulamentada pelo Decreto nº 4059 de 19 de dezembro de 2001, que estabeleceu a criação de parâmetros referenciais para a eficiência energética em edificações, com “indicadores técnicos e regulamentação específica” para estabelecer a obrigatoriedade dos níveis de eficiência energética no país. O decreto, também, criou o “Grupo Técnico para Eficientização de Energia nas Edificações no País” responsável por propor uma forma de regulamentar as edificações construídas no Brasil visando o uso racional da energia elétrica.

Estas medidas de eficiência no consumo de energia aplicadas na construção civil deram origem aos edifícios “eficientes”. Segundo Lamberts (2004), a eficiência energética pode ser entendida como a obtenção de um serviço com baixo dispêndio de energia.

A simulação de sistemas é, segundo Costa (2002), uma metodologia experimental que busca descrever o comportamento de um sistema. Esta metodologia define formas de quantificar o comportamento observado, prevendo o comportamento futuro. A proposta da simulação é produzir dados que, quando analisados, identificarão importantes aspectos do sistema estudado, auxiliando na explicação, compreensão e melhoria do mesmo. A simulação propõe a construção de um modelo representativo de um sistema real e de sua experimentação. Os resultados das simulações apresentam uma visão futura do sistema de modo que, as informações geradas podem ser ferramentas que auxiliem na tomada de decisão, necessárias no momento presente, e que contribuem para uma melhor compreensão do sistema estudado, antes mesmo de sua execução.

Atualmente, existem programas que permitem desde a manipulação de bases de dados de propriedades térmicas de componentes construtivos até a simulação integrada do comportamento energético de edificações, incluindo todos os seus sistemas elétricos e considerando sua interação com o meio ambiente. Através da simulação computacional, engenheiros e arquitetos podem quantificar os benefícios de determinada alternativa de projeto de uma edificação, antes mesmo de sua implementação, evitando os custos de execução de uma proposta que possa não ter o retorno econômico desejado. Apesar de reduzir o custo da obra, evitando a construção de opções de projeto menos vantajosas, o uso de simulação computacional gera um custo adicional na fase de projeto, envolvendo profissionais capacitados na manipulação de programas que, na maioria das vezes, requerem muitas horas de dedicação para o alcance dos resultados com a precisão desejada (WESTPHAL, 2007).

Segundo Carlo (2008), em geral, as normas de eficiência energética de edificações, não residenciais, apresentam duas abordagens: uma prescritiva e outra por simulação ou desempenho. A abordagem prescritiva estabelece limites ou indica soluções que atendem ao exigido para aprovação da edificação proposta, envolvendo propriedades físicas dos componentes do envoltório, como transmitância térmica, fator solar de vidros e resistência térmica de isolamentos. Para sistemas de iluminação artificial, geralmente, são estabelecidos limites de densidade de potência de iluminação.

Já a abordagem, por simulação ou desempenho, foca as perdas de calor pela envoltória, o desempenho global da edificação e seu consumo de energia. As formas de adotar esta abordagem variam, sendo as mais comuns:

- métodos de cálculo para comparação com limites pré-estabelecidos;
- métodos de cálculo ou simulações para comparações do desempenho térmico ou energético de uma edificação proposta com um modelo que atenda à abordagem prescritiva.

Para realizar as simulações, as normas indicam programas específicos ou que atendam a determinados pré-requisitos, como no BESTEST, do “*Standard*” 140, da ASHRAE. O “*Standard*” 140 da ASHRAE é o método padrão de teste de avaliação dos programas de simulação de eficiência energética para edificações sendo que, os procedimentos especificados pela norma se aplicam a programas de computador que simulam o desempenho térmico de um edifício e de seus sistemas mecânicos. O objetivo desta norma é a especificação dos procedimentos de teste para avaliar as capacidades técnicas e os limites de aplicabilidade dos programas de computador que calculam o desempenho térmico dos edifícios e de seus sistemas de HVAC – Heating, Ventilation and Air Conditioning (ASHRAE, 2004).

Segundo LabEEE (2013), dentre as inúmeras vantagens, recursos e aplicações dos programas de simulação computacional, destacam-se as seguintes:

- Simulação da evolução de variáveis ambientais no interior da edificação;
- Identificação de alternativas de melhoria na eficiência energética da edificação;
- Estimativa de redução de consumo e demanda de energia a partir da implementação de medidas de conservação;
- Rapidez, baixo custo e precisão dos resultados de simulações se comparados aos outros métodos disponíveis.

Segundo J. P. Waltz (1992), uma ferramenta de simulação inferior, nas mãos de um engenheiro bem consciente de suas características e capacidades, é superior à melhor ferramenta de simulação nas mãos de um engenheiro pouco familiarizado com ela. Portanto, o resultado obtido nas simulações depende do tipo de programa utilizado, das premissas básicas adotadas, bem como, das simplificações necessárias para cada tipo de programa.

2. OBJETIVO

O objetivo principal deste artigo foi analisar o peso das decisões arquitetônicas no dimensionamento do sistema de condicionamento de ar, comparar os resultados das simulações e verificar, se além da redução da potência elétrica instalada, como as alterações nas entradas de dados da absorvância das paredes e da cobertura apresentaram modificações no investimento inicial da edificação, em função da variação da capacidade do sistema de Condicionamento de Ar.

3. METODOLOGIA

Com base nos levantamentos das áreas de transmissão, a carga térmica foi calculada utilizando-se o software C.D.S. Load Design Program com a metodologia CLTD / CLF - Cooling Load Temperature Differential / Cooling Load Factor, da TRANE CO.

O método da diferença de temperatura (CLTD/SCL/CLF - *Cooling Load Temperature Difference / Solar Cooling Load Factor / Cooling Load Factor*) contempla o lapso de tempo associado aos ganhos internos por condução através de superfícies exteriores opacas, bem como, o atraso de tempo na conversão de ganhos térmicos por radiação em cargas térmicas do espaço (CARTAS, 2011). Esta metodologia de simulação possibilita o cálculo manual das cargas térmicas de um espaço, através do uso de coeficientes multiplicativos:

- ⇒ CLTD – diferença de temperatura teórica que representa o efeito combinado da diferença de temperatura entre o ar interior e o ar exterior à zona, variação de temperatura ao longo de um dia, radiação solar e fenômeno de inércia térmica. Os fatores CLTD pretendem servir como ajuste aos ganhos internos por condução através da envoltória opaca e envidraçada;
- ⇒ CLF – representa o fato de que um ganho interno radiativo não se transforma, automaticamente, em carga térmica num espaço. Os fatores CLF pretendem servir como ajuste aos ganhos internos através de cargas internas no espaço, nomeadamente iluminação, ocupação, etc.;
- ⇒ SCL – os fatores SCL pretendem representar os ganhos internos por transmissão através da envoltória envidraçada.

A simulação da carga térmica foi realizada adotando-se o perfil de temperatura local, com as seguintes principais características:

```

Weather File Code:      ITABIRA
Location:              ITABIRA, BRASIL
Created by:            Trane Co.
Latitude:              -19.4 deg
Longitude:             44.1 deg
Time Zone:             3
Elevation:             2555

Summer Clearness No:   1.00
Winter Clearness No:   1.00
Summer Design Dry Bulb: 90
Summer Design Wet Bulb: 77
Winter Design Dry Bulb: 50

Summer Ground Reflect  .20
Winter Ground Reflect  .20

Cooling Months Simulated: Jan through Dec
Cooling Load Method 2: 1985 ASHRAE CLTD/CLF (TFM)

```

Inicialmente, foi realizada simulação a ser adotada como referência para a análise da variação da carga térmica, utilizando-se os seguintes coeficientes:

- Cobertura: $U = 1,01 \text{ W/ m}^2 \cdot \text{°K}$ e Absortância (α) = 0,80;
- Parede: $U = 2,28 \text{ W/ m}^2 \cdot \text{°K}$ e Absortância (α) = 0,685 e
- Vidro: $U = 6,02 \text{ W/ m}^2 \cdot \text{°K}$ e Coeficiente de Sombreamento = 0,60.

Com o objetivo de avaliar o impacto da variação dos dados de entrada, foram feitas diversas simulações, alterando-se, basicamente, os valores dos coeficientes de absortância da cobertura e das paredes, conforme descrito a seguir:

Tabela 1 - Características dos coeficientes de absortância utilizados na simulação computacional

Descrição	Coefficiente de absortância COBERTURA	Coefficiente de absortância PAREDES
Opção Base (*)	$\alpha = 0,80$ (Laje de concreto)	$\alpha = 0,685$ (Parede de cor média)
Opção 1	$\alpha = 0,43$ (Laje de cor clara)	$\alpha = 0,685$ (Parede de cor média)
Opção 2	$\alpha = 0,21$ (Laje pintada de branco)	$\alpha = 0,685$ (Parede de cor média)
Opção 3	$\alpha = 0,80$ (Laje de concreto)	$\alpha = 0,40$ (Parede de cor clara)
Opção 4	$\alpha = 0,80$ (Laje de concreto)	$\alpha = 0,21$ (Parede Branca)
Opção 5	$\alpha = 0,21$ (Laje com pintura branca)	$\alpha = 0,21$ (Parede Branca)
Opção 6 (**)	(**)	$\alpha = 0,21$ (Parede Branca)

(*) Opção adotada para o dimensionamento do sistema pelo projetista, adotando-se coeficientes "default".

(**) Opção / Teto Verde. Neste caso, uma vez que o programa não possui a opção de absortância para teto verde, a simulação foi feita adotando-se a Cobertura como "exposed floor" (piso exposto), não sendo adotado na metodologia de cálculo o valor da absortância para Cobertura.

A *Absortância* e a *Absortividade* estão entre as propriedades térmicas dos materiais construtivos. A *Absortância* (α) ou poder de absorção é a fração absorvida quando a radiação incide sobre uma superfície real. Embora sejam consideradas sinônimos por diversos autores, a absortância e absortividade têm uma sensível diferença. A *Absortância* é a propriedade de um conjunto que compõe uma superfície, por exemplo, uma parede de concreto pintada de branco. A *Absortividade* por sua vez é a propriedade de um material isolado, por exemplo, alumínio, ferro, tinta branca e concreto. A *Absortância*, por se tratar de uma relação entre duas grandezas é adimensional.

Os resultados da carga térmica obtidos nas simulações foram planilhados de forma a possibilitar, inicialmente, a análise comparativa da variação da carga térmica em função das alterações propostas. Com base nas cargas térmicas calculadas, com as diversas alternativas construtivas propostas (Opção 1 à 6), foram definidas opções de sistemas de Condicionamento de Ar. Foram pré-selecionados os equipamentos a serem utilizados de modo a avaliar a relação custo x benefício de cada opção.

4. ESTUDO DE CASO

O prédio escolhido foi uma edificação de tipologia horizontal, com apenas 01 (um) pavimento, ocupado com atividades de escritório, sendo que o cálculo da carga térmica realizado subdividindo-se as áreas condicionadas em 03 (três) zonas, de forma a possibilitar uma comparação setorizada dos resultados, com uma área total condicionada de 822,1 m², assim distribuídos:

- Setor 1: 392,5 m²
- Setor 2: 261,8 m² e Setor 3 : 167,8 m²

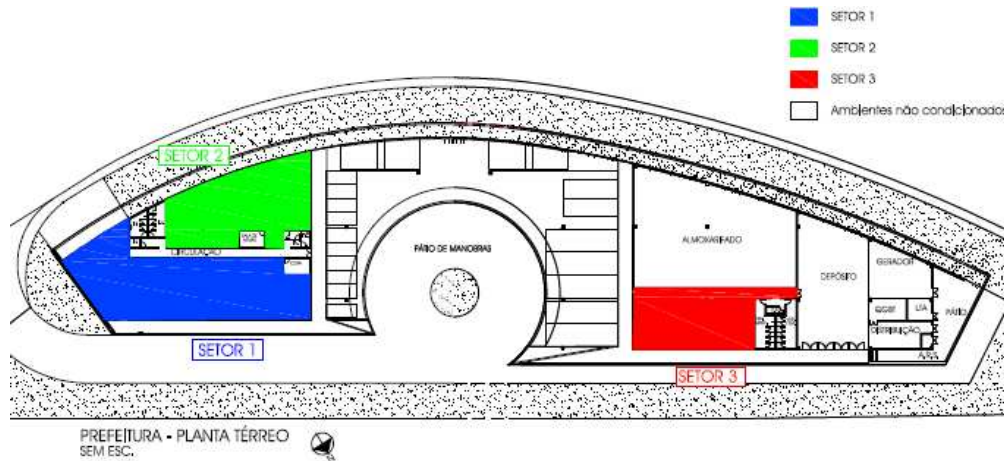


Figura 1- Planta Baixa do Prédio da Prefeitura com indicação dos setores para o cálculo da Carga Térmica

Foi analisada a influência da variação da absorção solar no dimensionamento da carga térmica. A capacidade instalada é função direta da carga térmica calculada, bem como, do tipo de sistema de Condicionamento de Ar a ser utilizado. Em função do sistema escolhido, foram pré-definidos os equipamentos a serem utilizados, obtendo-se assim a potência elétrica instalada.

O cálculo da carga térmica foi feito de modo a definir a carga de pico, tendo como base a geometria da edificação, bem como, a ocupação prevista em projeto, a saber, 132 pessoas, distribuídas nos ambientes conforme layout, definido no projeto arquitetônico. O sistema proposto para atender a edificação analisada foi o sistema de Condicionamento de Ar do tipo Multi-Split – VRF, com fluxo variável de refrigerante, tendo como referência de fabricação a marca LG. Neste tipo de sistema, para uma única unidade condensadora é possível a instalação de “n” unidades evaporadoras. A definição da quantidade de evaporadoras e os limites de distâncias permitidos dependerá do fabricante. No caso do projeto analisado, em função das locações disponibilizadas pela arquitetura e dos limites definidos pelo fabricante, se fez necessária a sub-divisão em 02 (dois) sistemas independentes – ver Figura 2.

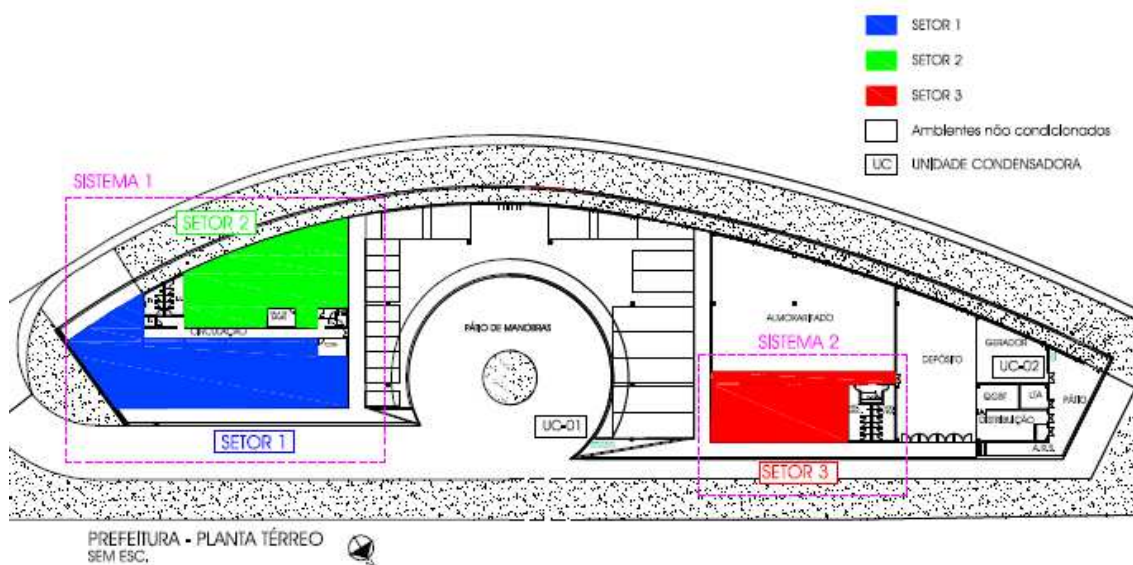


Figura 2 - Sistemas Independentes, atendidos pelas UC-01 (Setores 1 e 2) e pela UC02 (Setor 3)

Além da simulação com os sistemas independentes, conforme previsto no projeto, foi também realizada simulação com a opção de sistema único, conforme Figura 3, com o objetivo de se avaliar o potencial de redução da capacidade instalada. O objetivo desta avaliação foi verificar a variação dos resultados obtidos em função desta unificação.

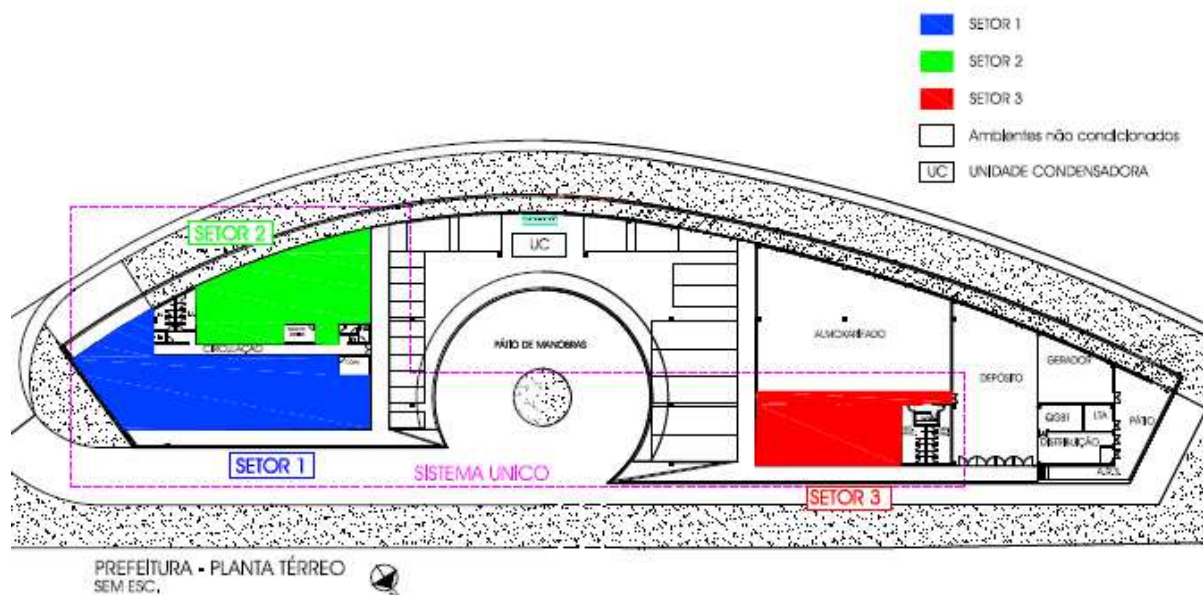


Figura 3- Sistema Unificado, atendidos pelas UC (Setores 1, 2 e 3)

A capacidade de refrigeração é entendida como sendo a capacidade de compressão instalada. A carga térmica de pico calculada se refere à maior carga razoável de cada ambiente, sendo que para o dimensionamento da capacidade de compressão, isto é, para o dimensionamento do compressor é utilizada a carga térmica simultânea, carga esta que leva em conta a diversidade operacional do sistema.

A diversidade operacional de um sistema centralizado é uma característica que implicará em uma redução da capacidade de refrigeração em relação à soma das capacidades térmicas instaladas nas unidades terminais. Em tese, quanto maior a unificação de um sistema, maior será a diversidade operacional do mesmo, o que poderá possibilitar a utilização de equipamentos com uma capacidade térmica menor. Para a definição do fator de diversidade a ser utilizado, leva-se em consideração a não operação simultânea das diversas salas com sua carga de pico, o que permite a redução da capacidade de refrigeração. No caso da utilização de sistemas individuais, do tipo aparelho de janela e/ou unidades mini-split convencional, a capacidade total de refrigeração é a soma das capacidades máximas instaladas.

5. RESULTADOS

5.1. Carga Térmica

A quantidade de calor a ser retirada de um ambiente, de modo a levar sua temperatura e umidade relativa a valores recomendáveis, é chamada de carga térmica, sendo esta composta por uma parcela externa (transmissão de calor através das paredes, pisos, tetos, janelas, radiação solar e calor relativo ao ar de renovação) e por uma parcela interna (dissipação de calor da iluminação, equipamentos e pessoas).

Para a definição da capacidade do sistema que é correspondente a carga térmica a ser combatida, além das condições específicas de temperatura e umidade a serem mantidas, é preciso o levantamento das características arquitetônicas da edificação (área das superfícies e tipo de material), bem como, das dissipações internas (iluminação, equipamentos e número e pessoas).

O tipo de sistema a ser adotado depende de uma análise técnica econômica, mas para qualquer opção a ser adotada, uma característica importante será a individualização do condicionamento de ar dos diversos setores, possibilitando assim o controle independente da temperatura e da umidade em cada espaço, em função da demanda específica.

Nas simulações realizadas foram obtidos os seguintes resultados de carga térmica:

Tabela 2 - Resumo da Carga Térmica Calculada, para as diversas opções de simulação

Local	Área m ²	Carga Térmica Calculada [TR]						
		Opção Base	Opção 1	Opção 2	Opção 3	Opção 4	Opção 5	Opção 6
		$\alpha t = 0,80$ $\alpha p = 0,685$	$\alpha t = 0,43$ $\alpha p = 0,685$	$\alpha t = 0,21$ $\alpha p = 0,685$	$\alpha t = 0,80$ $\alpha p = 0,40$	$\alpha t = 0,80$ $\alpha p = 0,21$	$\alpha t = 0,21$ $\alpha p = 0,21$	Teto verde $\alpha p = 0,21$
Setor 1	392,5	18,3	17,1	16,4	17,9	17,9	15,7	16,1
Setor 2	261,8	12,0	11,2	10,7	11,9	11,9	10,6	10,9
Setor 3	167,8	7,6	7,0	6,7	7,4	7,4	6,5	6,7
Total	822,1	37,8	35,3	33,8	37,2	36,9	32,8	33,7

Obs.: $\alpha t = \alpha$ teto e $\alpha p = \alpha$ parede

A comparação entre os resultados da Opção Base e as demais Opções (1 a 6) pode ser vista nos gráficos apresentados na Figura 4. Analisando-se os valores apresentados verificamos que:

- A alteração dos coeficientes de absorvância do teto apresenta uma maior influência nos resultados (- 6,7% e - 10,6%) do que a alteração dos coeficientes das paredes (-1,6% e -2,4%);
- A maior redução na carga térmica foi obtida quando da alteração simultânea dos coeficientes do teto e das paredes, para os valores mínimos, obtendo-se uma redução de -13,3%;
- Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que, o cuidado com a definição do coeficiente de absorvância do teto, tem prioridade em relação ao coeficiente das paredes para o edifício analisado;
- A definição da cor dos materiais a serem utilizados, em função do coeficiente de absorvância de cada uma, irá influir nos resultados obtidos independente do tipo de constituição do elemento construtivo e de seu respectivo Coeficiente de Transmissão de Calor (Fator U).

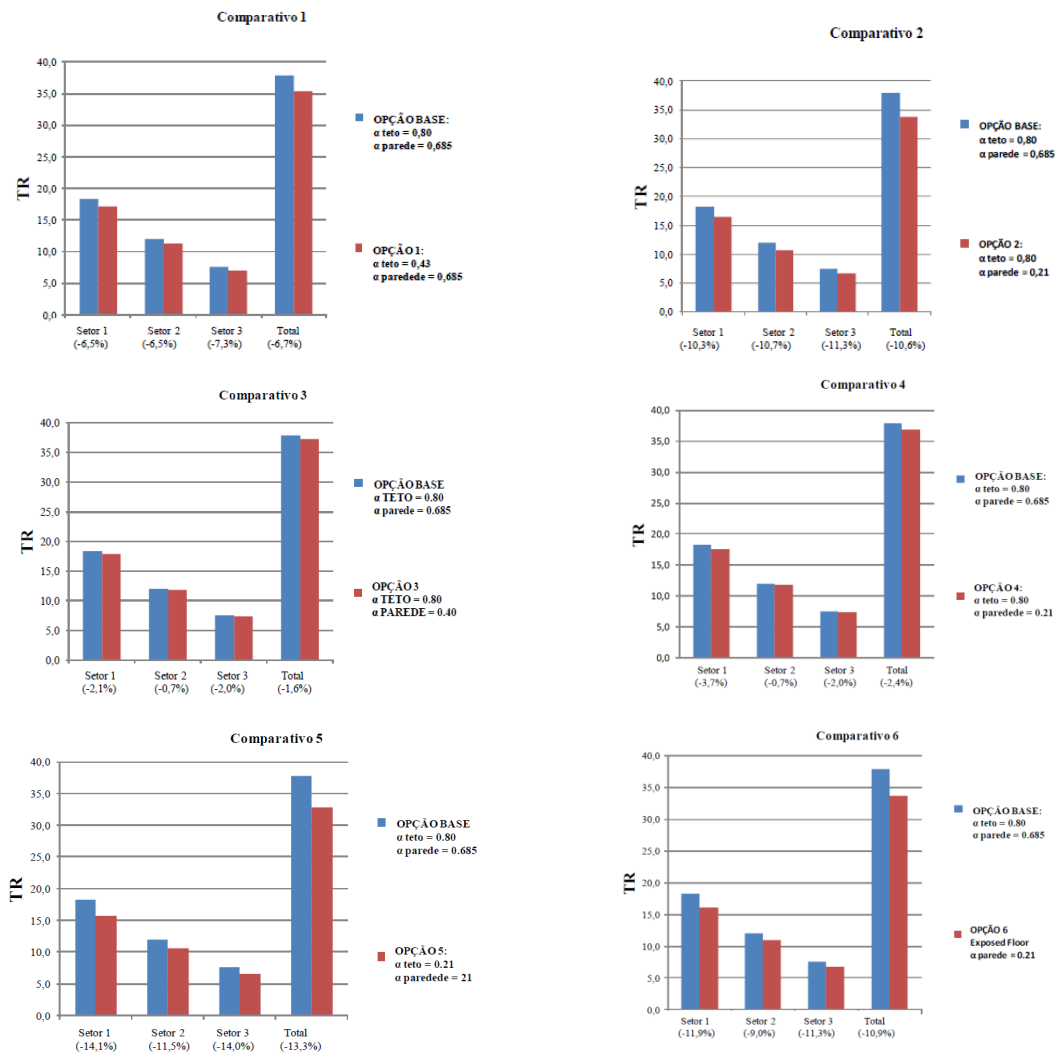


Figura 4 - Gráficos comparativos das simulações

5.2. Capacidade Instalada

5.2.1. Sistemas Independentes

Para a avaliação da potência elétrica instalada, foram pré-selecionados os equipamentos do sistema de condicionamento de ar, do tipo “VRF” (volume de refrigerante variável), com a instalação de 168 (cento e sessenta e oito) unidades evaporadoras do tipo “cassete” de 04(quatro) vias e de 02 (duas) unidades condensadoras, sendo obtidos os seguintes resultados:

Tabela 3 - Comparativo dos Sistemas de Condicionamento de Ar (Equipamentos, Potência e Custo) - Sistemas independentes

Opção	Carga Calculada [kW]		Redução Carga	Unidades Evaporadoras		Unidades Condensadoras			Potência [Kva]	Redução Potência	Custo Estimado [R\$]
				Cap. Unit. [kW]	Cap. Total [kW]	Modelo Ref. LG	Cap. Unit. [kW]	Cap. Total [kW]			
Opção Base	106,9	133,7	-	11 x 7,1	150,9	ARUN 440	110,9	136,1	70,1	-	160.000,00
	26,8			13 x 5,6		ARUN 100	25,2				
Opção 1	99,9	124,6	- 6,8%	11 x 7,1	150,9	ARUN 420	105,8	131,0	69,3	- 3,7%	160.000,00
	24,7			13 x 5,6		ARUN 100	25,2				
Opção 2	95,6	119,2	- 10,8%	24 x 5,6	134,4	ARUN 400	100,8	126,0	68,4	- 7,4%	157.000,00
	23,6			13 x 5,6	ARUN 100	25,2					
Opção 3	105,2	131,3	- 1,8%	11 x 7,1	150,9	ARUN 420	105,8	131,0	69,3	- 3,7%	160.000,00
	26,1			13 x 5,6		ARUN 100	25,2				
Opção 4	104,1	130,2	- 2,6%	11 x 7,1	150,9	ARUN 420	105,8	131,0	69,3	- 3,7%	160.000,00
	26,1			13 x 5,6		ARUN 100	25,2				
Opção 5	95,3	118,9	- 11,1%	24 x 5,6	134,4	ARUN 380	95,8	121,0	65,1	- 11,1%	152.000,00
	23,6			13 x 5,6	ARUN 100	25,2					
Opção 6	92,8	114,6	- 14,3%	24 x 5,6	134,4	ARUN 380	95,8	121,0	65,1	- 11,1%	152.000,00
	21,8			13 x 5,6	ARUN 100	25,2					

Analisando os valores da Tabela 3, verificamos que a redução da potência instalada apresenta variações diferentes da redução da carga térmica. As Opções 1, 3 e 4 apresentaram a mesma redução na potência instalada (-3,75%) em relação à Opção Base, enquanto que a redução da carga térmica foi diferente em cada opção, a saber, -6,8%, 1,8 % e 2,6%, respectivamente. No caso da Opção 2, a redução da carga térmica (-10,8%) foi menor do que a redução na potência instalada (-7,4%). Nas Opções 5 e 6, as reduções da potência foram iguais (-11,1%), apesar da redução da carga térmica ter sido diferente em cada opção, a saber, -11,1% para a Opção 5 e -14,3%, para a Opção 6. Em relação ao investimento inicial, as Opções 1, 3 e 4 não apresentaram variação no custo estimado dos equipamentos do sistema de Condicionamento de Ar, entretanto, as Opções 2, 5 e 6 apresentaram redução de -1,87% e de -5% em relação à Opção base.

5.2.2. Sistema Unificado

Para a avaliação da potência elétrica instalada, foram pré-selecionados os equipamentos do sistema de condicionamento de ar, do tipo “VRF” (volume de refrigerante variável), com a instalação de 168 (cento e sessenta e oito) unidades evaporadoras do tipo “cassete” de 04 (quatro) vias e de 01 (uma) unidade condensadora, sendo obtidos os seguintes resultados:

Tabela 4 - Comparativo dos Sistemas de Condicionamento de Ar (Equipamentos, Potência e Custo) - Sistema Unificado

Opção	Carga Calculada [kW]	Redução Carga	Unidades Evaporadoras		Unidades Condensadoras		Potência [kVA]	Redução Potência	Custo Estimado [R\$]
			Cap. Unit. [kW]	Cap. Total [kW]	Modelo Ref. LG	Cap. Total [kW]			
Opção Base	133,7	-	11 x 7,1	150,9	ARUN 500	126,0	69,6	-	160.000,00
			13 x 5,6						
Opção 1	124,6	- 6,8%	11 x 7,1	150,9	ARUN 500	126,0	69,6	0%	160.000,00
			13 x 5,6						
Opção 2	119,2	- 10,8%	24 x 5,6	134,4	ARUN 460	115,9	59,0	-15,2%	157.000,00
			11 x 7,1	150,9	ARUN 500	126,0	69,6	0%	160.000,00
Opção 3	131,3	- 1,8%	11 x 7,1	150,9	ARUN 500	126,0	69,6	0%	160.000,00
			13 x 5,6						
Opção 4	130,2	- 2,6%	11 x 7,1	150,9	ARUN 500	126,0	69,6	0%	160.000,00
			13 x 5,6						
Opção 5	118,9	- 11,1%	24 x 5,6	134,4	ARUN 460	115,9	59,0	- 15,2%	152.000,00
			11 x 7,1	150,9	ARUN 500	126,0	69,6	0%	160.000,00
Opção 6	114,6	- 14,3%	24 x 5,6	134,4	ARUN 460	115,9	59,0	- 15,2%	152.000,00
			11 x 7,1	150,9	ARUN 500	126,0	69,6	0%	160.000,00

No caso da unificação dos sistemas, conforme pode ser visto através da análise dos valores da Tabela 4, verificamos que a redução da potência instalada, também, apresenta variações diferentes da redução da carga térmica. As Opções 1, 3 e 4 obtiveram reduções na carga térmica de -6,8%, -1,8% e -2,9%, mas estas opções não apresentaram redução na potência instalada. As Opções 2, 5 e 6 apresentaram uma redução de -15,2% na potência instalada, redução esta bem maior do que a redução da carga térmica, a saber, -10,8%, -11,1% e -14,3%, respectivamente. Em relação ao investimento inicial, as Opções 1, 3 e 4 não apresentaram variação no custo estimado dos equipamentos do sistema de Condicionamento de Ar, entretanto, a Opção 2 apresentou redução de -4,4% e as Opções 5 e 6 de -4,7%, em relação à Opção base.

5.2.3. Comparativo dos Sistemas Independentes x Sistema Unificado

Tabela 5 - Comparativo da Potência Instalada
Sistemas Independentes x Sistema Unificado

Opção	Potência Instalada [kVA]		
	Sistemas Separados	Sistema Unificado	Variação Potência
Opção Base	70,1	69,6	- 0,7 %
Opção 1	69,3	69,6	0,3 %
Opção 2	68,4	59,0	- 15,9 %
Opção 3	69,3	69,6	0,3 %
Opção 4	69,3	69,6	0,3 %
Opção 5	65,1	59,0	- 10,3 %
Opção 6	65,1	59,0	- 10,3 %

Tabela 6 - Comparativa do Investimento Inicial
Sistemas Independentes x Sistema Unificado

Opção	Investimento Inicial Estimado [R\$] – Base Abril/13		
	Sistemas Separados	Sistema Unificado	Variação Investimento
Opção Base	160.000,00	180.000,00	11,1 %
Opção 1	160.000,00	178.000,00	10,1 %
Opção 2	157.000,00	172.000,00	8,7 %
Opção 3	160.000,00	178.000,00	10,1 %
Opção 4	160.000,00	178.000,00	10,1 %
Opção 5	152.000,00	171.500,00	11,4 %
Opção 6	152.000,00	171.500,00	11,4 %

Analisando-se a Tabela 5, verifica-se que na comparação entre a opção dos Sistemas Independentes e o Sistema Unificado, para as Opções Base, 1, 3 e 4, a variação da potência instalada ficou muito próxima de zero (- 0,7% e 0,3%). No caso das Opções 2, 3 e 4, é possível verificar que a utilização do sistema unificado irá proporcionar uma redução substancial na potência instalada (-15,9% e -10,3%).

Analisando-se a Tabela 6, verifica-se que na comparação entre a opção dos Sistemas Independente e o Sistema Unificado, para todas as opções, a unificação do sistema apresentou aumento do investimento inicial, sendo que a Opção 2 apresenta o menor aumento (8,7%) e as Opções 5 e 6 os maiores aumentos (11,4 %).

Avaliando-se de forma comparativa as Tabelas 5 e 6, verifica-se que entre a opção dos Sistemas Independentes e do Sistema Unificado, teremos sempre redução na potência instalada e aumento no investimento inicial. Entretanto, é importante salientar que, o aumento do investimento inicial será compensado pela redução da potência elétrica instalada e do consumo. O presente estudo avaliou apenas a variação na potência instalada, porém é fato que a redução do consumo, também, irá ocorrer.

5.3. Análise dos resultados

Os resultados de carga térmica obtidos se referem à carga térmica simultânea para uma tipologia de edificação específica, a saber, edificação horizontal destinada à ocupação como Escritório, funcionando no horário comercial. A relação entre as áreas de teto e das paredes tem influência importante nos resultados, de modo que, dependendo da relação entre estas áreas a taxa m^2/TR será alterada.

As variáveis arquitetônicas, que influenciam na determinação do sistema de Condicionamento de Ar a ser instalado, podem reduzir ou proporcionar os ganhos de eficiência energética e devem ser estudadas em conjunto com o projetista mecânico. No estudo em questão, as variações dos valores da absorvância das paredes e do teto implicaram em redução da carga térmica calculada e da potência elétrica instalada, mas em proporções diferentes.

A redução da potência instalada não é diretamente proporcional à redução da carga térmica, pois a mesma dependerá da capacidade dos equipamentos de condicionamento de ar especificados. A explicação para este fato tem como base a modulação existente nos equipamentos de mercado (Unidades Condicionadoras e Unidades Evaporadoras). Os fabricantes fornecem equipamentos com capacidades modulares padronizadas, de modo que nem sempre a variação da carga térmica irá significar a redução do modelo especificado. A capacidade de compressão a ser instalada deve atender à capacidade de pico calculada, fato este que, em função das modulações existentes, impede a maximização do ganho .

Para uma mesma alternativa (Sistemas Independentes ou Sistema Unificado), apesar de, em algumas das opções, a redução da potência instalada ter sido pequena ou até nula, em todas as opções a simulação apresentou redução da carga térmica, o que irá implicar na redução do consumo de energia, pois o sistema de Condicionamento de Ar do tipo “VRF” opera reduzindo de forma linear o consumo do compressor, em função da carga térmica efetiva. Além da redução da potência elétrica instalada, o presente estudo verificou que ocorrerá redução no investimento inicial, o que por si só, justifica o estudo proposto das variáveis arquitetônicas, para o dimensionamento da carga térmica e , conseqüentemente, da capacidade dos sistemas de Condicionamento de Ar .

6. CONCLUSÃO

O resultado da carga térmica e a definição da capacidade do sistema têm impacto direto na potência elétrica instalada, bem como, no investimento inicial.

A variação dos coeficientes de absorvância propostos resultou na redução da carga térmica, confirmando assim que as decisões tomadas no desenvolvimento do projeto arquitetônico têm impacto direto no resultado do cálculo da carga térmica a ser combatida pelo sistema de Condicionamento de Ar e, conseqüentemente, na potência elétrica instalada e no investimento inicial.

Para ambas as alternativas (Sistemas Independentes e Sistema Único), nas simulações realizadas, foram obtidas reduções da carga térmica, da potência instalada e do investimento inicial. Para a alternativa dos Sistemas Independentes, entre a Opção Base e a Opção 6, as reduções da carga térmica, da potência instalada e do investimento inicial foram, respectivamente, de 14,3%, 11,1 % e de 5% e para a alternativa do Sistema Único de 11,1%, 15,2% e 4,7%, respectivamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASHRAE STANDARD. **Standard Method of Test for the Evaluation of building Energy Analysis Computer Programs.** ASHRAE 140-2004;
- CARLO, J.C. (2008). **Desenvolvimento de metodologia de Avaliação da Eficiência Energética do Envoltório de edificações Não – residenciais.** Tese de Doutorado em Engenharia Civil. Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina;
- CARTAS, J.F.N. (2011). **Simulação dinâmica de um edifício de escritórios com os programas Energyplus e Trace 700.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Técnica de Lisboa.
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura.** 2a edição. São Paulo: ProLivros, 2004;
- WALTZ, J.P. **Practical Experience in achieving levels of accuracy energy simulations of existing buildings.** ASHARE Transactions, 1992;
- WESTPHAL, F.S. (2007). **Análise de incertezas e de sensibilidade aplicada à simulação de desempenho energético de edificações.** Tese de Doutorado em Engenharia Civil. Curso de Pós – Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina.
- LabEEE – LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Simulação termo energética.** Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/linhas-de-pesquisa/simulacao-termo-energetica-de-edificacoes> > Acessado em: 10 de junho de 2013