

INFLUÊNCIA CLIMÁTICA NO DESEMPENHO ENERGÉTICO DE UMA EDIFICAÇÃO COMERCIAL
PARA O TERRITÓRIO BRASILEIRO

Ademilson dos Santos Xavier – ademilsonxavier@yahoo.com.br

Paulo Roberto Wander – prwander@unisinos.br

Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, www.unisinos.br.

F3 - Cálculos Térmicos e Energéticos: Informações Climáticas; Ventilação e Infiltração; Cálculos da Carga de Resfriamento e Aquecimento; Métodos de Modelamento e Estimativas Energéticas.

Resumo. A eletricidade é uma forma de energia final que registra o crescimento mais rápido e, no entanto, o setor contribui mais do que qualquer outro para a redução do percentual de combustíveis fósseis no conjunto energético global, afirmação feita pela International Energy Agency (IEA, 2014). Estudos recentes mostraram que uma grande parte da energia elétrica consumida no Brasil destina-se a edificações do setor Comercial e Público, e ainda mostram que o perfil desse consumo vem aumentando nos últimos anos. Nestas edificações, o condicionamento de ar juntamente com a iluminação artificial representam as maiores parcelas da energia elétrica consumida durante o seu período de operação. Observando-se que o sistema de HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning) apresenta relevante papel no quadro final do consumo energético em edificações, a determinação de seus requisitos mínimos de eficiência energética torna-se o fator chave para o sucesso de qualquer programa de certificação energética em construções. Esse estudo procurou analisar as condicionantes externas do clima que podem influenciar direta ou indiretamente o desempenho energético de uma edificação comercial (hotel). Além disso, demais fatores como a tipologia da edificação, o seu perfil de uso (taxa de ocupação), a demanda anual de climatização dentre outros, foram também estudados para a construção de uma metodologia que permitisse a definição das localidades dentro do território brasileiro, na busca do melhor entendimento dos valores de demanda e eficiência energética. Os resultados mostraram que o sistema de condicionamento de ar é utilizado em grande parte do ano em Condições de Carga Parcial (Part Load Conditions) e a operação desse sistema em Carga Plena (Full Load) é muito pequena. Para o Brasil, um país com grandes dimensões territoriais e comportamentos climáticos continentais em sua proporção, estudos que se preocupem em entender cada vez melhor todas as componentes que influenciam o desempenho anual de edificações, seguem cada vez mais importantes para prédios certificados ou não. Para a análise mais detalhada das cargas térmicas internas e externas da construção e ainda considerar a influência das diferentes regiões geográficas adotadas, foi utilizado o programa EnergyPlus.

Palavras-chave: Eficiência energética, carga parcial, carga térmica, arquivo climático.

1. INTRODUÇÃO

O sistema energético mundial corre o risco de ficar aquém das suas próprias esperanças e expectativas. Esta afirmação foi feita pela International Energy Agency (IEA, 2014) através do documento *World Energy Outlook* (WEO), publicado em novembro de 2014, em Londres.

No Brasil, de acordo com Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf) a preocupação mais acentuada com a eficiência energética surgiu com os choques do petróleo de 1973-74 e 1979-81, que trouxeram a percepção de escassez deste recurso e forçaram a alta dos preços dos chamados "energéticos", abrindo assim espaço para uma série de ações voltadas a conservação e maior eficiência no uso dos seus derivados. Nesta mesma época, começou então uma corrida para a diversificação da matriz energética nacional visando uma maior segurança no atendimento de energia.

No documento: PNEf (Plano Nacional de Eficiência Energética) /Premissas e Diretrizes Básicas (MME, 2011) sob a responsabilidade e coordenação do Ministério de Minas e Energia (MME), a projeção do potencial de conservação de energia elétrica é de 10% até 2030.

Em dezembro de 1985, por meio da Portaria Internacional nº 1.877, dos Ministérios de Minas e Energia e da Indústria e Comércio, foi instituído o PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, coordenado pelo MME (Ministério de Minas e Energia) e operacionalizado pela Eletrobrás com o objetivo de promover a racionalização do consumo de energia elétrica, para que se eliminem os desperdícios e se reduzam os custos e os investimentos setoriais. O Programa é constituído por diversos subprogramas, dentre os quais se destacam ações nas áreas de iluminação pública, industrial, saneamento, educação, informações, desenvolvimento tecnológico, divulgação, prédios públicos e edificações.

De acordo com o Plano de Ação para Eficiência Energética em Edificações ou PROCEL Edifica, estima-se que o setor apresenta um potencial de redução de consumo de aproximadamente 30% com implantação de ações de eficiência energética nos sistemas de iluminação, ar condicionado e intervenções arquitetônicas na envoltória no que diz respeito às edificações existentes. Este potencial se eleva para 50% em edificações novas, em fase de projeto.

2. CONTEXTUALIZAÇÃO

Em 1987 a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento da Organização das Nações Unidas (ONU), através do relatório Nosso Futuro Comum, cria o conceito *Desenvolvimento Sustentável*, ou seja, sem comprometer as necessidades das futuras gerações. No Brasil, as edificações vêm buscando aplicar cada vez mais esse conceito através de regulamentos e legislações que definam os requisitos mínimos de eficiência energéticos para os edifícios em toda a sua contextualização, ou seja, envoltória, iluminação e o sistema de condicionamento de ar.

2.1 Eficiência Energética em Edificações

Atualmente a maioria das nações desenvolvidas inclui uma pauta sobre eficiência energética nas políticas de seu planejamento governamental. Regulamentos e programas de certificação são ferramentas básicas para o melhoramento de eficiência no setor de edificações. O sistema de HVAC (*Heating, Ventilation, and Air Conditioning*) representa um grande papel no quadro final do consumo energético para edifícios, portanto, a determinação de seus requisitos mínimos de desempenho torna-se o fator chave para o sucesso de qualquer programa de certificação energética em construções. Entretanto, um olhar mais atento para os valores de eficiência dos sistemas de HVAC para os vários regulamentos já existentes, mostram importantes diferenças qualitativas e quantitativas.

Elementos como a diversidade dos sistemas de HVAC, o grande impacto do clima, os diferentes hábitos do perfil de uso em edificações e principalmente a falta de uma terminologia homogênea (padronização) para as certificações, representam juntos a complexidade técnica desse tema para os projetistas. A Tab. 1 traz uma breve síntese dos principais regulamentos de eficiência energética em todo mundo, a partir de estudos que cobriram mais de trinta países.

Tabela 1 - Normas de Eficiência Energética

País	Norma de Eficiência Energética
Estados Unidos	ASHRAE <i>Standard</i> 90.1-2007 (ASHRAE 90.1) <i>International Energy Conservation Code</i> 2009,1 <i>Building Energy Efficiency Standards for Buildings</i>
Canadá	<i>Model National Energy Code of Canada for Buildings</i> 1997 (MNECB)
Japão	<i>Criteria for clients on the rationalization of energy use for buildings</i> 1999 (CCREUB)
China	<i>Design Standard for Energy Efficiency of Public Buildings</i> 2005 (EEPB)
Índia	<i>Energy Conservation Building Code</i> 2007 (ECBC)
Hong Kong	<i>Code of Practice for Energy Efficiency of Air Conditioning Installations</i> (EEACI)
Austrália	<i>Building Code of Australia</i> 2007 (BCA)
Inglaterra	<i>Building Regulations Part L2A</i> (Part L2A)
França	<i>Caractéristiques Thermiques Des Bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments</i> (RT 2005)
Espanha	<i>Reglamento de instalaciones térmicas en edificios</i> (RITE)

No Brasil, a crise energética de 2001 teve como resposta imediata à promulgação da Lei de Eficiência Energética e o incremento do Procel. A categoria Edificações - Procel Edifica, foi inserida no Prêmio Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, estimulando arquitetos e engenheiros civis a elaborar projetos cada vez mais eficientes.

2.2 Carga Parcial

O consumo de energia de um sistema de condicionamento de ar é função do desempenho térmico da edificação e da eficiência do próprio sistema de condicionamento, nas suas diversas condições de operação. O desempenho térmico de uma edificação está relacionado à carga térmica do prédio e suas variações ao longo do dia e do ano. Essas variações estão relacionadas com a forma de ocupação dos ambientes e com as variações climáticas. Já a eficiência de um sistema de climatização é função da forma como ele responde às variações das condições ambientais ao longo do ano. Com isso, o desempenho do sistema é influenciado principalmente pela eficiência dos equipamentos, configuração do sistema e estratégias de operação (DUARTE, 2014).

Quando falamos em Condições de Carga Parcial ou *Part Load Conditions*, um indicador que sem dúvida vem auxiliando toda a comunidade técnica na familiarização de como o desempenho térmico energético de um sistema condicionador de ar se comporta ao longo de um ano típico, em função das potenciais variações de carga externas e internas, é o IPLV. O *Integrated Part Load Value*, ou IPLV, é um número singular que busca representar a eficiência de um *Chiller* em condições parciais de carga, referenciado à norma AHRI (AHRI *Standard* 550/590) e, portanto, apresentando um indicador conhecido como *Part Load Efficiency* (PLE). Desde que foi desenvolvido pela primeira vez em 1986, a equação sofreu duas mudanças. Em 1992 o IPLV publicado assumiria os dados meteorológicos de uma única cidade (Atlanta - EUA), considerando o perfil de carga e horário de funcionamento de um prédio de escritórios. Já na revisão do seu modelo matemático publicada em 1998, o novo IPLV considera os dados meteorológicos médios ponderados pa-

ra 29 cidades em todo o EUA (Estados Unidos da América). Estas localidades foram selecionadas por representar aproximadamente 80% da área de todas as vendas de *Chillers* que ocorreram ao longo de um período de 25 anos, de 1967 a 1992.

2.3 Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviço e Públicos (RTQ-C)

Considerando a necessidade de atender ao que dispõe a Lei n.º 10.925 que estabelece a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviço e Públicos (RTQ-C) define a classificação do nível mínimo de eficiência energética.

Para qualquer estudo que tenha como proposta analisar o comportamento da eficiência termoenergética em edificações, considerar as diferentes tipologias arquitetônicas, o perfil de uso e não menos importante toda a base de dados climáticos na qual a edificação está instalada, é essencial. A pesquisa de Carlo (2008) deu origem às zonas bioclimáticas (ZB) do território brasileiro. Foi realizado inicialmente um levantamento de todas as características tipológicas de edifícios comerciais, de serviços e públicos em cinco capitais brasileiras: Florianópolis, São Paulo, Salvador, Recife e Belo Horizonte. A partir daí propôs-se então, a divisão do território brasileiro em oito zonas relativamente homogêneas quanto ao clima (Fig. 1).

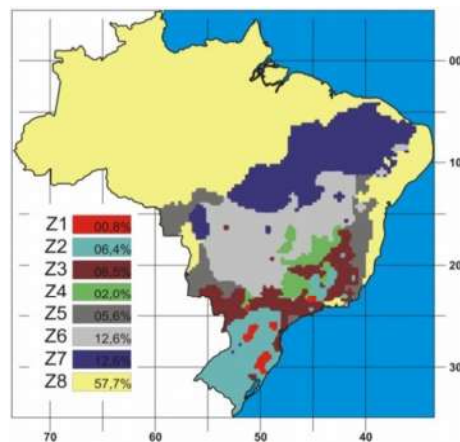


Figura 1 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro

Fonte: Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviço e Públicos, RTQ-C

Uma Zona Bioclimática (ZB) tem por objetivo determinar as estratégias que um edifício deve seguir para obter o conforto térmico dos seus ocupantes. Desta forma, uma ZB é o resultado geográfico do cruzamento de três tipos diferentes de dados: zonas de conforto térmico humano, dados objetivos climáticos e estratégias de projeto e construção para atingir o conforto térmico. No que se refere à classificação, o RTQ-C divide a edificação em três requisitos:

- Envolória;
- Iluminação;
- Sistema de Condicionamento de Ar.



Figura 2 - Modelo da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE)

Fonte: Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviço e Públicos (RTQ-C)

A etiquetagem de eficiência energética de edifícios deve atender aos requisitos relativos ao desempenho da envol-tória, a eficiência e potência instalada do sistema de iluminação e a eficiência do sistema de condicionamento do ar.

O formato da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), contendo os níveis finais e parciais do edifi-cio, é mostrado na Fig. 2.

Da perspectiva do sistema de condicionamento do ar, o RTQ-C também apresenta os requisitos mínimos de efici-ência energética para equipamentos não avaliados pelo PBE/INMETRO. A Fig. 3, por exemplo, expõe os requisitos de eficiência mínima de condicionadores de ar do tipo VRF que operam somente em refrigeração (sem ciclo reverso) para classificação no nível A, com a referência da norma AHRI *Standard* 1230 (Procedimento de teste, Fig. 3).

Tipo de equipamento	Capacidade	Tipo de aquecimento	Subcategoria ou condição de classificação	Eficiência a mínima	Procediment o de teste
Condicionadores de ar VRF com condensação a ar	< 19 kW	Todos	Multi-split VRF	3,81 SCOP	AHRI 1230
	≥ 19 kW e < 40 kW	Ausente ou Resistência elétrica	Multi-split VRF	3,28 COP 3,84 ICOP	
	≥ 40 kW e < 70 kW	Ausente ou Resistência elétrica	Multi-split VRF	3,22 COP 3,78 ICOP	
	≥ 70 kW	Ausente ou Resistência elétrica	Multi-split VRF	2,93 COP 3,40 ICOP	

Figura 3 - Eficiência mínima de condicionadores de ar do tipo VRF que operam somente em refrigeração (sem ciclo re-verso) para classificação no nível A

Fonte: Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviço e Pú-blicos (RTQ-C)

A ASHRAE *Standard* 90.1 citada na Tab. 1, é uma norma dos Estados Unidos (EUA) que estabelece critérios mí-nimos a serem adotados em projetos de edificações energeticamente eficientes. A reconhecida norma enfoca práticas de projeto e tecnologias que minimizem o consumo de energia na edificação. Publicada originalmente em 1975, vem sendo adotada como referência para muitas regulamentações e é revisada e publicada a cada três anos (DUARTE, 2014).

Para o sistema de condicionamento de ar, a ASHRAE 90.1 também faz referência à norma AHRI *Standard* 1230 (*Performance Rating of Variable Refrigerant Flow - VRF*) para aparelhos condicionadores de ar com tecnologia VRF. Portanto, torna-se relevante a devida compreensão dos procedimentos e dos indicadores que envolvem as condições de Carga Plena (*Full Load*) e Carga Parcial (*Part Load*) nas quais esses equipamentos são submetidos na sua aplicação.

2.4 AHRI *Standard* 1230 - *Performance Rating of Variable Refrigerant Flow (VRF)*

Na busca pela eficiência energética, o mercado de sistemas de climatização com tecnologia de vazão de refrigeran-te variável (VRF) apresenta-se em expansão. Considerado um sistema central eficiente, compacto e de fácil operação, essa tecnologia tem sido frequentemente adotada em edificações comerciais no Brasil. Com forte apelo comercial fo-cando as temáticas como *sustentabilidade* e *economia* de energia. Os principais fabricantes mundiais investem no de-senvolvimento de tecnologia e no lançamento de produtos, fomentando a ampla competição no setor (DUARTE, 2014).

Bathia (2013) comenta que a tecnologia VRF permite excepcional eficiência em cargas parciais. Como a maioria dos sistemas de ar condicionado (HVAC) utiliza, em suas horas de operação, entre 30 – 70% de sua capacidade máxi-ma, o coeficiente de desempenho (COP) do VRF é muito alto e a eficiência energética sazonal (carga parcial) destes sis-temas é excelente.

Air Conditioning, Heating, and Refrigeration Institute (AHRI) é uma reconhecida associação comercial norte americana, que representa os principais fabricantes de HVAC & aquecimento de água, equipamentos e componentes. Essa instituição é a pioneira neste campo.

Para condicionadores de ar com tecnologia VRF a norma AHRI *Standard* 1230 tem como principal proposta esta-belecer definições; classificações; requisitos de teste; requisitos mínimos para a publicação de dados; requisitos opera-cionais; identificação de dados de placa; e condições de conformidade.

Pelo exposto até então, apresentamos abaixo um dos equacionamentos contidos na AHRI 1230, para se avaliar um Condicionar de Ar tipo VRF, Eq. 1:

$$IEER = (0,020 * A) + (0,617 * B) + (0,238 * C) + (0,125 * D) \quad (1)$$

Condição:

- A = EER a 100% da capacidade líquida em condições de rating, em Carga Plena;
- B = EER a 75% da capacidade líquida e redução da temperatura do ambiente externo;
- C = EER a 50% da capacidade líquida e redução da temperatura do ambiente externo;
- D = EER a 25% da capacidade líquida e redução da temperatura do ambiente externo.

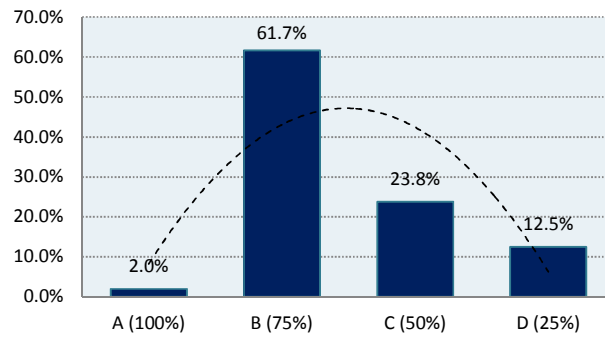


Figura 4 - Representação das Condições Parciais de Carga, conforme a AHRI Standard 1230

A Figura 4 apresenta de forma visual as condições parciais de carga sugeridas pela norma AHRI 1230. Estas condições são utilizadas para se calcular o indicador de eficiência energética IEER (*Integrated Energy Efficiency Ratio*).

Para o *Part-Load Rating Conditions* a AHRI 1230 define conforme a Tab. 2 a Temperatura de Bulbo Seco e Úmido para o Ambiente Interno e a faixa de variação da Temperatura de Bulbo Seco do Ambiente Externo, quando se refere às condições para determinar o IEER de uma unidade de condicionamento de ar com controle de capacidade proporcional (75%, 50% e 25%) e com um ventilador de velocidade fixa para o motor da unidade interna.

Tabela 2 – Condição de Carga Parcial (IEER *Part-Load Conditions*)

Temperatura de Bulbo Seco do Ambiente Interno (°C)	Temperatura de Bulbo Úmido do Ambiente Interno (°C)	Temperatura de Bulbo Seco do Ambiente Externo (°C)	% Atual de Carga (Capacidade Líquida)
26,7	19,4	35,0	100%
26,7	19,4	27,5	75%
26,7	19,4	20,0	50%
26,7	19,4	18,3	25%

Fonte: ARHI Standard 1230

(*Performance Rating of Variable Refrigerant Flow*)

O IEER (*Integrated Energy Efficiency Ratio*, Eq. 1) assim como o ICOP (Coeficiente Integrado de Performance, Fig. 3) são indicadores de eficiência energética (IEE) que vem sendo construídos pelos principais regulamentos de eficiência energética ao longo do tempo e disponibilizados pela maioria dos fabricantes, para cálculo dos fatores de ponderação nos diferentes climas e tipos de construção. Nos EUA, números de indicadores médios de eficiência energética têm sido desenvolvidos, onde valores limites têm sido fixados.

3 METODOLOGIA

Nesse capítulo poderemos ver a metodologia utilizada para se chegar aos resultados do presente trabalho. O estudo foi composto por três etapas: definição das localidades (municípios) a serem estudadas, a caracterização da edificação do modelo de referência e a escolha do programa de simulação computacional a ser utilizado.

3.1 Definição das Localidades

Para a definição das localidades dados relevantes para a pesquisa como valores de CDD (*Cooling Degree-Days*), arquivos climáticos disponíveis no formato TRY, participação de mercado de condicionadores de ar comerciais por região (*Market Share*) e o agrupamento bioclimático brasileiro, foram devidamente considerados e analisados.

Cooling Degree-Days (CDD)

De acordo com o *Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE)*, *Degree-days* é uma ferramenta que pode ser utilizada na avaliação e análise do tempo relacionado ao consumo de energia em edificações. Essa ferramenta tem sua origem na pesquisa agrícola, onde o conhecimento da variação da temperatura do ar exterior é importante. Contudo, seu conceito pode ser facilmente transferido para avaliar a eficiência energética em edificações.

Segundo o *ASHRAE Fundamentals*, no capítulo *Climatic Design Information*, o *Degree-Days* é calculado através da soma das diferenças entre uma temperatura média diária ($T_{méd}$) e uma temperatura definida com base (T_b), dia a dia, por um período de um ano. Quando a temperatura do ar exterior ($T_{méd}$) estiver acima da temperatura base (T_b) selecionada, uma demanda de arrefecimento será requerida. Portanto, o período em se quantifica o tempo quando a temperatura do ar exterior estiver acima da temperatura de base, chama-se *Cooling Degree-Days (CDD)*.

Para este estudo o CDD é um importante para avaliar as localidades estudadas, pois, quanto maior for o seu valor, maior será o potencial de mercado para os sistemas de condicionamento de ar (operando na função de arrefecimento).

Arquivo Climático

Segundo a ASHRAE (1993), existem duas fontes de ano climático desenvolvidas para cálculos de energia utilizados nos Estados Unidos: o *Test Reference Year* (TRY), que foi preparado pelo *National Climatic Center* e o *Typical Meteorological Year* (TMY), que foi preparado pelo *Sandia Laboratories* em Albuquerque, Novo México (EUA).

O *Test Reference Year* determinado por este processo consiste em dados climáticos horários apresentados em um formato padronizado, conforme necessário para simulação de desempenho térmico de edificações.

Capital	UF	Região	TRY	SWERA	CSV	BIN
Rio Branco	AC	Norte				
Maceió	AL	Nordeste	TRY		CSV	BIN
Macapá	AP	Norte				
Manaus	AM	Norte		SWERA		
Salvador	BA	Nordeste	TRY	SWERA	CSV	BIN
Fortaleza	CE	Nordeste	TRY	SWERA	CSV	BIN
Brasília	DF	Centro-Oeste	TRY	SWERA	CSV	BIN
Vitória	ES	Sudeste	TRY		CSV	BIN
Goânia	GO	Centro-Oeste				
São Luís	MA	Nordeste	TRY		CSV	BIN
Cuiabá	MT	Centro-Oeste		SWERA		
Campo Grande	MS	Centro-Oeste		SWERA		
Belo Horizonte	MG	Sudeste		SWERA	CSV	
Belém	PA	Norte	TRY	SWERA	CSV	BIN
João Pessoa	PB	Nordeste				
Curitiba	PR	Sul	TRY	SWERA	CSV	BIN
Recife	PE	Nordeste	TRY	SWERA	CSV	BIN
Teresina	PI	Nordeste				
Rio de Janeiro	RJ	Sudeste	TRY	SWERA	CSV	BIN
Natal	RN	Nordeste	TRY		CSV	BIN
Porto Alegre	RS	Sul	TRY		CSV	BIN
Porto Velho	RO	Norte		SWERA		
Boa Vista	RR	Norte				
Florianópolis	SC	Sul	TRY	SWERA	CSV	BIN
São Paulo	SP	Sudeste	TRY	SWERA	CSV	BIN
Aracaju	SE	Nordeste				
Palmas	TO	Norte				

TRY Arquivo TRY disponível
SWERA Arquivo SWERA disponível
CSV Arquivo CSV disponível
BIN Arquivo BIN disponível



Figura 5 – Relação dos arquivos climáticos disponíveis por capitais do território nacional. Fonte: LabEEE (www.labee.ufsc.br)

Figura 6 – Localização dos arquivos climáticos TRY disponíveis por capitais no mapa do território nacional. Fonte: LabEEE (www.labee.ufsc.br)

Este estudo procurou trabalhar somente com os arquivos tipo TRY. Sendo assim, as possibilidades e limitações referentes às localidades para a simulação seguem de acordo com a relação apresentada nas Fig. 5 e 6.

Participação Regional de Mercado de Condicionador de Ar Comercial

De acordo com o Departamento de Economia e Estatística (DEE) da ABRAVA, o parque hoteleiro brasileiro atual é insuficiente e precisa de “retrofit” e manutenção. Há um grande mercado para hotéis de negócios nas cidades grandes e médias do Brasil, com especial destaque para hotelaria econômica. Além disso, nota-se também um significativo mercado para hotéis de negócios de luxo nas principais capitais brasileiras, com redes internacionais.



Figura 7 - Mercado de Ar Condicionado para estabelecimentos comerciais, por regiões (2015)

Fonte: ABRAVA [Adaptado de DEE]

Este trabalho focou nos três principais mercados conforme os valores apresentados na Fig. 7: Região Sudeste, com 46%, Região Nordeste, com 21% e em terceiro lugar a Região Centro-Oeste, com 15% de participação.

Agrupamento Bioclimático Brasileiro

Segundo o Manual de Aplicação do RTQ-C, o território brasileiro é extenso e abrange diferentes realidades climáticas que exigem estratégias distintas para alcançar condições de conforto térmico e da eficiência energética das edificações.

Algumas Zonas Bioclimáticas (ZB) podem ser agrupadas, pois as simulações não mostraram diferenças significativas entre os consumos de energia de edificações simuladas nas zonas referidas. A Fig. 8 apresenta as zonas bioclimáticas agrupadas e não agrupadas.

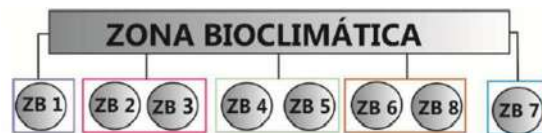


Figura 8 - Síntese de agrupamento das zonas bioclimáticas

Fonte: Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviço e Públicos, RTQ-C

Para este trabalho as Zonas Bioclimáticas 1 e 7 foram descartadas. A ZB 1 refere-se a climas mais frios e com baixos valores de CDD (localidade de Curitiba por exemplo), por isso a demanda de ar condicionado é baixa. A ZB 7 está localizada no clima árido da região nordeste e o arquivo climático no formato TRY, não se encontra disponível.

Definição das Localidades

Para a definição das localidades os principais fatores característicos foram cuidadosamente analisados. Além dos elementos vistos até aqui, mais dois foram inseridos no contexto objetivando complementar o quadro da seleção dos municípios objetivo dessa pesquisa: (e) capacidade hoteleira (CH) para as 10 principais capitais do território nacional (IBGE, 2011) e (f) a posição de cada município segundo o PIB (Produto Interno Bruto) nacional (IBGE, 2012). Todos estes seis fatores são apresentados na Fig. 9, conforme abaixo:

		LabEEE	ASHRAE 90.1	ABRAVA	IBGE (2011)	IBGE (2012)	NBR: 15220	
	Localidade	TRY	CDD	PRM	CH (unidades habitacionais)	PIB - a preços correntes (1000 R\$)	Zona Bioclimática	Região
1	Belém (PA)	Disponível	3392	5%	-	20557946	8 e 6	Norte
2	São Luís (MA)	Disponível	3594	21%	-	24601718	8 e 6	Nordeste
3	Recife (PE)	Disponível	3429	21%	-	36821898	8 e 6	Nordeste
4	Fortaleza (CE)	Disponível	3394	21%	12188	43402189	8 e 6	Nordeste
5	Natal (RN)	Disponível	3148	21%	11455	13291177	8 e 6	Nordeste
6	Salvador (BA)	Disponível	3011	21%	15666	39866168	8 e 6	Nordeste
7	Maceió (AL)	Disponível	2716	21%	-	13694808	8 e 6	Nordeste
8	Vitória (ES)	Disponível	2614	46%	-	28655025	8 e 6	Sudeste
9	Rio de Janeiro (RJ)	Disponível	2472	46%	31594	220924560	8 e 6	Sudeste
10	Brasília (DF)	Disponível	1379	15%	11980	171235534	4 e 5	Centro-Oeste
11	São Paulo (SP)	Disponível	1140	46%	65065	499375400	2 e 3	Sudeste
12	Florianópolis (SC)	Disponível	1301	13%	10098	12614710	2 e 3	Sul
13	Porto Alegre (RS)	Disponível	1131	13%	10284	48002208	2 e 3	Sul
14	Curitiba (PR)	Disponível	595	13%	12780	59151307	1	Sul

Figura 9 – Localidades

Legenda:

TRY: Test Reference Year

CCD: Cooling Degree-Days

PRM: Participação Regional de Mercado (Ar Condicionado Comercial)

CH: Capacidade Hoteleira

PIB: Produto Interno Bruto

$$R = \frac{PRM}{PRM_{max}} \cdot 0,40 + \frac{CDD}{CDD_{max}} \cdot 0,30 + \frac{PIB}{PIB_{max}} \cdot 0,20 + \frac{CH}{CH_{max}} \cdot 0,10 \quad (2)$$

onde R é o resultado ponderado para todos os 4 fatores, CDD é o *Cooling Degree-Days*, PRM é a participação regional de mercado, em número absoluto, CH é capacidade hoteleira e o PIB é o valor correspondente ao produto interno bruto.

		LabEEE	ASHRAE 90.1	ABRAVA (2015)	IBGE (2011)	IBGE (2012)	Resultado	NBR: 15220	
	Localidade	TRY	CDD	PRM	CH	PIB	R	Zona Bioclimática	Região
4	Fortaleza (CE)	Disponível	0,283	0,183	0,019	0,017	0,502	8 e 6	Nordeste
-	Salvador (BA)	Disponível	0,251	0,183	0,024	0,016	0,474	8 e 6	Nordeste
-	Natal (RN)	Disponível	0,263	0,183	0,018	0,005	0,469	8 e 6	Nordeste
9	Rio de Janeiro (RJ)	Disponível	0,206	0,400	0,048	0,088	0,742	8 e 6	Sudeste
10	Brasília (DF)	Disponível	0,115	0,130	0,018	0,068	0,331	4 e 5	Centro-Oeste
11	São Paulo (SP)	Disponível	0,095	0,400	0,100	0,200	0,795	2 e 3	Sudeste

Figura 10 - Localidades selecionadas

As localidades selecionadas foram: São Paulo (SP), Rio de Janeiro (RJ), Fortaleza (CE) e Brasília (DF), pois essas quatro capitais juntas satisfazem as condições além de apresentar os maiores valores de pontos conforme Eq. 2 (para o indicador R), correspondem às zonas bioclimáticas 2, 3, 4, 5, 6 e 8 e; as regiões sudeste, nordeste e centro-oeste, que foram objeto desse estudo (Fig. 10).

3.2 Características da Edificação

De forma resumida, serão aqui abordadas as principais características do modelo de referência (hotel). Podemos observar como elementos da edificação as informações como número de apartamentos (quartos), área total da edificação e a área dos quartos juntamente com os demais ambientes do edifício.

Esses dados foram cuidadosamente pesquisados por Brofman (2014) em seu Estudo sobre Cogeração em Hotéis, para a localidade de Porto Alegre - RS. Neste estudo buscou-se um modelo de referência representativo como sendo um padrão de mercado. Desse modo, a geometria do prédio foi definida para ser muito simples e ter pouca influência da orientação solar. Uma geometria retangular foi escolhida.

Características Físicas

A Tabela 3 apresenta de forma sumarizada as principais características consideradas para o modelo da edificação (hotel) de referência.

Tabela 3 – Dados do hotel modelo de referência

Total de Apartamentos	132
Apartamentos por Pavimento	12
Número de Pavimentos	14
Área por Apartamentos (m²)	38,26
Área total de Apartamentos (m²)	5050,32
Área de Uso Comum (m²)	1460,44
Área de Salão de Eventos (m²)	269,08
Área Administrativa (m²)	114,78
Área de Restaurante (m²)	417,60
Área de Serviço (m²)	1026,10
Área Total (m²)	8338,32

Fonte: Brofman (2014)

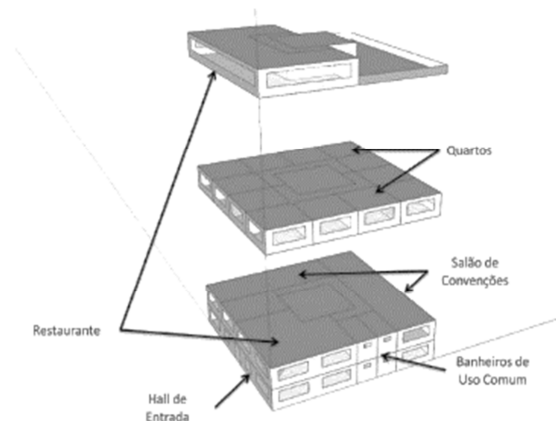


Figura 11 - Perfil de forma do modelo de referência (hotel)

Podemos observar que o pavimento intermediário é chamado "pavimento tipo" (Fig. 11), ou seja, na simulação computacional a modelagem pode ser realizada apenas uma vez, utilizando-se de um fator multiplicador.

Para as propriedades e características térmicas de materiais, elementos e componentes construtivos, foi utilizada a norma ABNT NBR 15220-2: 2005 - Desempenho térmico de edificações. As cargas internas do modelo foram definidas conforme valores sugeridos por normas de desempenho energético em edificações (ASHRAE 2007).

Características de Ocupação da Edificação (Perfil de Uso)

Os principais dados do Anuário Estatístico da Taxa de Ocupação Hoteleira para cada uma das localidades selecionadas foram devidamente analisados na construção das características de ocupação (perfil de uso) da edificação, conforme apresentado na Fig. 12.

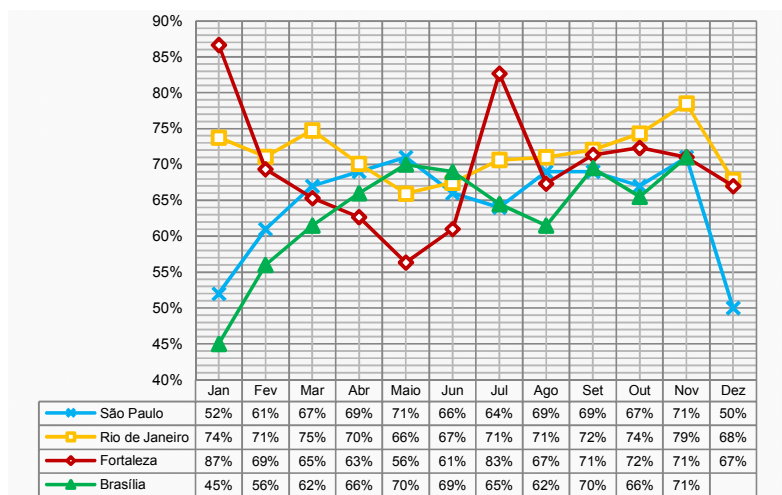


Figura 12 - Taxa de Ocupação Hoteleira para as localidades de São Paulo, Rio de Janeiro, Fortaleza e Brasília.

3.3 Programa de Simulação Computacional – EnergyPlus

O programa utilizado para a simulação termo energética da edificação foi o *EnergyPlus*. Este programa permite análises das cargas térmicas internas e externas para o sistema de HVAC, as condições de conforto das zonas térmicas múltiplas, a influência dos parâmetros construtivos da envoltória, bem como avaliar o consumo energético da edificação ainda considerando a influência das regiões geográficas considerando as diferentes zonas bioclimáticas.

Para a determinação da carga térmica foi selecionado um equipamento tipo PTHP (*Packaged Terminal Heat Pump*) no arquivo de simulação com a capacidade de refrigeração ajustada em “autosize”.

4 RESULTADOS

Os resultados apresentados nas Fig. 13 e 14 a seguir, mostram o perfil de temperatura de bulbo seco do ar exterior e a sua relação direta com a resultante de carga térmica para as localidades selecionadas.

4.1 Perfil de Temperatura de Bulbo Seco do Ar Exterior ao longo do Ano

Através da Fig. 13 podemos observar a abrangência do clima para as 4 localidades brasileiras selecionadas.

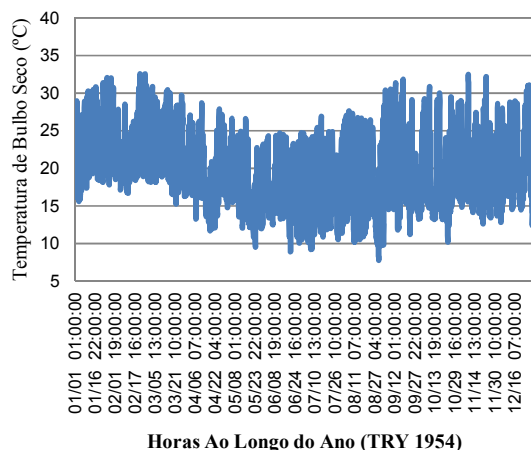


Figura 13a – Temperaturas de bulbo seco do ar exterior para a localidade de São Paulo (ZB - 3).

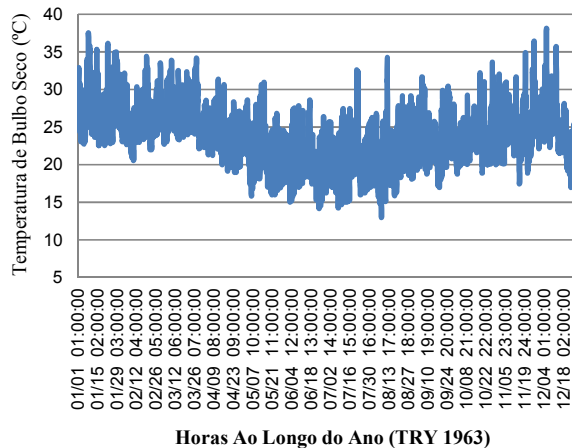


Figura 13b - Temperaturas de bulbo seco do ar exterior para a localidade do Rio de Janeiro (ZB - 8).

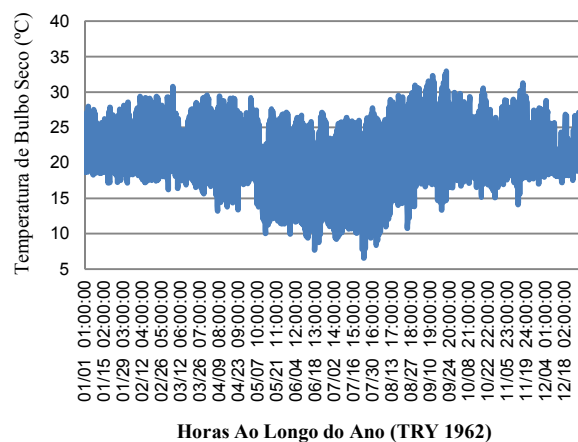
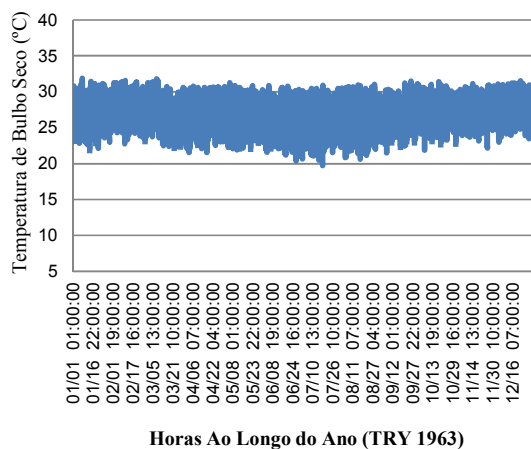


Figura 13c - Temperaturas de bulbo seco do ar exterior para a localidade de Fortaleza (ZB -8).

Figura 13d - Temperaturas de bulbo seco do ar exterior para a localidade de Brasília (ZB - 4).

Figura 13 - Temperaturas de bulbo seco dos arquivos climáticos TRY para as localidades de São Paulo, Rio de Janeiro, Fortaleza e Brasília

A Figura 13c mostra que o perfil de temperatura de bulbo seco do ar exterior se comportou de maneira quase “constante” para a localidade de Fortaleza. A faixa de temperatura ficou entre 20 °C e 30 °C, com uma temperatura média de 25 °C aproximadamente e, portanto, essas temperaturas do ar exterior estão próximas de condições ditas como de conforto (térmico). As Figuras 13a, 13b e 13d, mostram as capitais que apresentaram uma maior amplitude na variação das temperaturas do ar exterior. O município do Rio de Janeiro (Fig.13b) mostrou valores superiores à 35 °C para alguns meses. Para São Paulo (Fig. 13a) e Brasília (Fig. 13d) temperaturas mais próximas de 30 °C como temperatura de pico (máxima), foram observadas.

Com isso, podemos analisar que as localidades de São Paulo, Rio de Janeiro e Brasília poderão resultar em uma demanda variável de capacidade de condicionamento de ar, situação em que os aparelhos de ar condicionado com tecnologia VRF apresentam bom desempenho energético. Portanto, espera-se que para essas três capitais o sistema de climatização do edifício de referência apresente melhores resultados de eficiência energética, quando comparado à localidade de Fortaleza.

4.2 Perfil de Carga Térmica e Perfil de Temperaturas.

A Figura 14 apresenta o perfil de carga térmica e de temperaturas para as 4 capitais

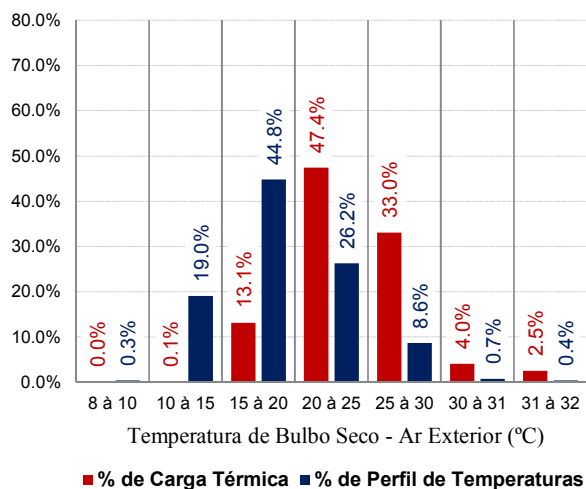


Figura 14a: Percentual de Carga Térmica e Perfil de Temperaturas. Localidade: São Paulo (ZB - 3).

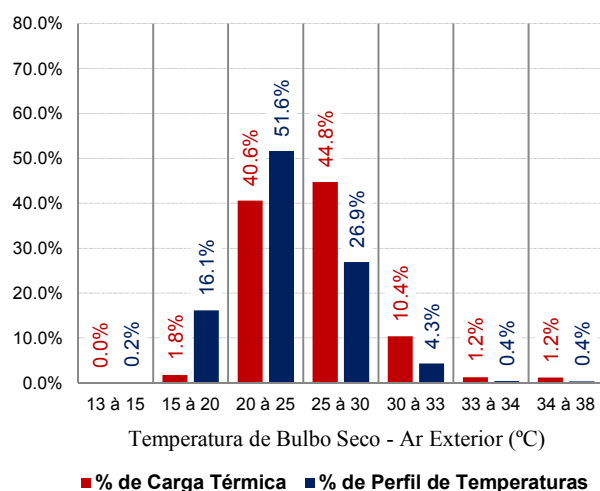


Figura 14b: Percentual de Carga Térmica e Perfil de Temperaturas. Localidade: Rio de Janeiro (ZB - 8).

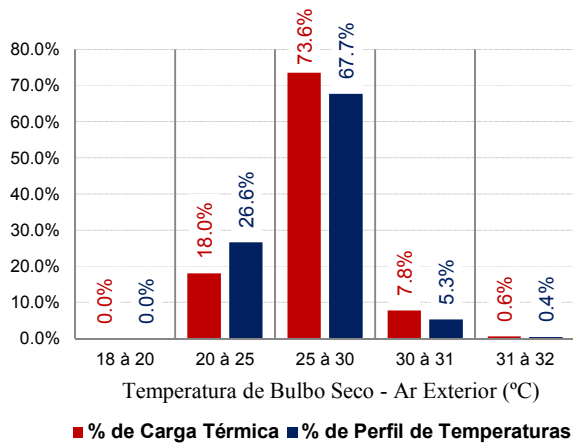


Figura 14c: Percentual de Carga Térmica e Perfil de Temperaturas. Localidade: Fortaleza (ZB -8).

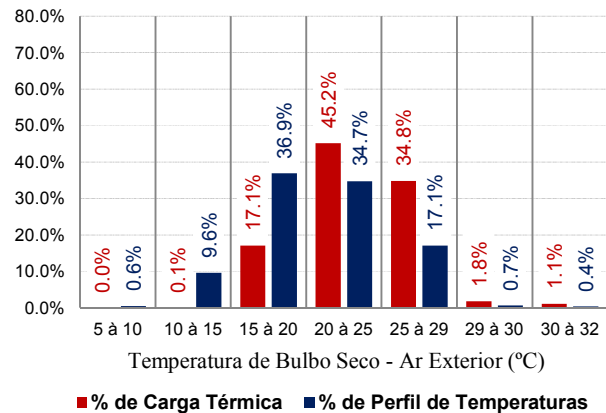


Figura 14d: Percentual de Carga Térmica e Perfil de Temperaturas. Localidade: Brasília (ZB -4).

Figura 14 – Percentual de Carga Térmica e Perfil de Temperaturas de Bulbo Seco do Ar Exterior para as localidades de São Paulo, Rio de Janeiro, Fortaleza e Brasília

A Figura 14 mostra o Perfil de Carga Térmica e o Perfil de Temperaturas na aplicação do sistema de HVAC. Porém, antes de uma análise mais detalhada dos resultados, alguns esclarecimentos tornam-se necessários. Primeiro: para a seleção do condicionador de ar, foram utilizados os critérios do *Design Day*, ou Dia de Projeto, conforme o ASHRAE *Fundamentals*. Essa é uma prática comum utilizada por alguns projetistas. Assim, a última faixa de temperaturas (para cada gráfico da Fig. 14) foi definida a partir do valor que é excedido 0,4% das horas do ano. Segundo: a temperatura limite de mudança de cada faixa ocorre após a alteração da milésima casa decimal para cada grau de temperatura.

Os resultados mostraram que para as localidades de São Paulo (Fig. 14a) e Brasília (Fig. 14d) a carga térmica máxima ocorreu na faixa de temperatura entre 20 à 25 °C, com os valores de 47,4% e 45,2% respectivamente. Já para a localidade do Rio de Janeiro (Fig. 14b) e Fortaleza (Fig. 14c) os valores máximos ocorreram na faixa entre 25 a 30 °C, com 44,8% e 73,6%. Logo então, para nenhuma das 4 capitais a carga térmica máxima foi identificada na temperatura do ar exterior, também máxima. Isso se explica devido à repetição (frequência) de uma determinada temperatura (máxima ou não) durante o ano. Para São Paulo o maior percentual das horas ocorreu entre as temperaturas de 15 a 20 °C, com 44,8%, para o Rio de Janeiro a faixa de 20 a 25 °C teve a maior frequência horária, com 51,6%, para a localidade de Fortaleza observamos que o percentual máximo das horas ocorreu dentro da mesma faixa em que a carga térmica também foi máxima, ou seja, de 25 a 30 °C, com 67,7% e por fim, Brasília ficou entre 15 a 20 °C, com 36,9%. A temperatura pela qual o sistema de HVAC foi selecionado teve a seguinte frequência: 0,7% para São Paulo (31°C), 0,4% para a localidade do Rio de Janeiro (34°C), 0,7% para Brasília (30°C) e por fim, 5,3% para a capital de Fortaleza (31°C). Essa análise é de grande importância, pois, isso definirá em qual condição os regulamentos, normativas e órgãos certificadores, devem e deverão concentrar seus esforços na busca do melhor nível de eficiência energética do sistema.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ações de grande expressão têm sido adotadas para melhorar o nível de eficiência no uso da energia elétrica. Em edificações, organizações certificadoras lutam para reduzir o consumo energético, aprimorando cada vez mais não somente os processos na etapa de construção como também, melhorando o seu desempenho energético durante o tempo de operação. Esse trabalho buscou apresentar de que maneira essas certificações auxiliam na avaliação da qualidade do nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviço e públicos, para o Brasil.

Para a análise do desempenho energético de uma edificação, observar o tempo do uso da energia elétrica é muito importante. A Fig. 14 mostrou que o equipamento de ar condicionado foi exigido na condição de Carga Plena (100% de sua capacidade de refrigeração) somente 5,3% de seu tempo de operação, para a localidade de Fortaleza. Para todas as localidades restantes o sistema de HVAC foi exigido nessa condição (100%) em menos de 1% do tempo de operação. Também podemos observar que para as quatro capitais selecionadas, duas delas (50%) apresentaram a maior demanda de carga térmica de arrefecimento entre as temperaturas de bulbo seco do ar exterior de 20 a 25 °C (São Paulo e Brasília) e para as outras duas (Rio de Janeiro e Fortaleza) o maior valor da necessidade de climatização foi observado na faixa de temperaturas entre 25 a 30 °C.

Pelo exposto até então, analisando em modo comparativo os dados da Fig. 4 (Representação das Condições Parciais de Carga, conforme a AHRI 1230) com a Fig. 14 (Percentual de Carga Térmica e Perfil de Temperaturas de Bulbo Seco do Ar Exterior para as localidades de São Paulo, Rio de Janeiro, Fortaleza e Brasília) podemos verificar que o Coeficiente Integrado de Performance proposto pelo RTQ-C (ICOP), não correspondeu às expectativas de carga térmica e de perfil de temperatura nas quais as capitais São Paulo e Brasília foram submetidas. O sistema de HVAC opera em

grande parte do ano em Condições Parciais de Carga (*Part Load Conditions*), ou seja, abaixo da sua capacidade total de refrigeração. Portanto entender, qualificar e normalizar os requisitos mínimos de eficiência energética do sistema de HVAC nessas condições (parciais) é de extrema importância. Todo esse contexto indica de certa forma o grau de complexidade do desafio de se formular um modelo matemático ou um denominador comum que represente o impacto dos diversos fatores oriundos das características geográficas e condições climáticas, para território brasileiro.

Para estudos futuros, o presente trabalho se dispõe a continuar a análise do desempenho energético desse modelo de referência aplicando o sistema de ar condicionado com tecnologia VRF, analisando não somente o perfil de carga térmica, mas também o indicador integral de desempenho (IEER ou ICOP) desses equipamentos.

6 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-3:Desempenho Térmico de Edificações – Parte 3: Zoneamento Bioclimático e Estratégias de Condicionamento Térmico Passivo para Habitações de Interesse Social. Rio de Janeiro, 2005.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16401-3: Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários. Parte 3: Qualidade do ar interior. Rio de Janeiro, 2005.
- ANSI/AHRI Standard 1230. Performance Rating of Variable Refrigerant Flow (VRF) Multi-Split Air-Conditioning and Heat Pump Equipment. 2010.
- ARI STANDARD 550/590. Standard for Water Chilling Packages Using the Vapor Compression Cycle, White Paper, 1998.
- ASHRAE – AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIRCONDITIONING ENGINEERS. 2001 Fundamentals Handbook, Atlanta, 2001a.
- ASHRAE, 90.1-2010 Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings, American Society of Heating Refrigeration and Air Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, EUA, 2010.
- BATHIA, A. HVAC Variable Refrigerant Flow Systems, Course Nº: M03-014, Continuing Education and Development. Inc. New York USA, Disponível em: <<http://www.engineering.com/>>. Acessado em: 30 jul. 2013.
- BROFMAN, E. G. Estudo de Cogeração em Hotéis. Dissertação para obtenção do Título de Mestre em Engenharia, UFRGS, 2014.
- DUARTE, V. C. P. Comparação do Desempenho Energético de Sistemas de Climatização Para Uma Edificação Comercial Em Florianópolis/SC. Dissertação para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil, Universidade de Federal de Santa Catarina - UFRGS, 2014.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, World Energy Outlook 2014.
- PLANO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, Premissas e Diretrizes Básicas. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/publicacoes-e-indicadores/plano-nacional-de-eficiencia-energetica.pdf>. Acesso em: 8 de jul. 2015.
- PROCEL EDIFICA. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas. Disponível em: http://www.pbgedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/downloads/Port372-2010_RTQ_Def_Edificacoes-C_rev01.pdf. Acesso em: 28 de jun. 2015.

FORMAT INSTRUCTIONS FOR PAPERS SUBMITTED TO THE MERCOFRIO 2016

Abstract. According International Energy Agency (IEA) the electricity is a form of final energy that records the fastest growth in the global outlook. Current analyzes have been shown that much of the electricity consumed in Brazil is intended to Commercial and Public buildings and also show that the profile of consumption has been increasing in recent years. For buildings, air conditioning and artificial lighting represent the largest shares of the electricity consumed during its operation period. Watching that the HVAC system (Heating, Ventilation, and Air Conditioning) shows a significant role in the final frame of the energy consumption in buildings, determining its minimum requirements for energy efficiency becomes the key factor for success any energy certification program for buildings. This study sought to analyze the main factors that can influence directly or indirectly the energy performance of a commercial building (hotel). Therefore, important data such as climate type, building typology, usage profile (occupancy rate), annual demand for air conditioning expressed in hours among others, have been carefully studied for the construction of a methodology that would allow the definition of the appropriate locations within the country, in search of better understanding of the demand values and energy efficiency regarding buildings. The results showed that especially the air conditioning system is used in much of the year at Partial Load Conditions and the operation of the system at Full Load is very small. For Brazil, a country with territorial dimensions and continental climatic behavior in their proportion, studies that worries to understand ever more clearly the facts that influence an annual performance of buildings follow increasingly important on the national scenarios for certified or not buildings. To analyze the internal and external thermal loads of construction and also consider the influence of different geographic regions adopted, the EnergyPlus program has used.

Key words: Energy efficiency, partial load, load profile, climate file.