

AVALIAÇÃO DE INDICADORES DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES CLIMATIZADAS

José Eduardo Corrêa Santana e Silva
jose.edu@gmail.com

Resumo. O presente trabalho destina-se à definição e simulação de uma edificação climatizada que atenda às normas ASHRAE 90.1 (2004) e ABNT NBR 16401-1 (2008) para análise da sensibilidade de indicadores de desempenho perante a variação de diversos parâmetros que afetam o desempenho energético do edifício. As simulações foram realizadas no programa Energy Plus, que é reconhecido como uma importante ferramenta para a previsão de consumos e perfis térmicos de um edifício sustentável. Em um primeiro momento é definido o modelo do pavimento a ser utilizado, abrangendo os materiais de construção, a quantidade e as dimensões das zonas térmicas, o modelo do pavimento a ser utilizado e a razão entre área envidraçada e área de fachada. Em seguida, foram estudados os indicadores de desempenho energético mais utilizados disponíveis, e alguns destes foram selecionados para análise de sensibilidade em relação a parâmetros de grande influência na carga térmica do edifício. Por fim, são analisadas simulações para quatro diferentes climas do território nacional.

Palavras chave: Indicadores de Desempenho, Edifícios, Ar condicionado, Energia (eficiência)

1. Introdução

Na década de 1970, devido à crise energética decorrente dos altos preços do petróleo internacional, grupos de ecologistas, ambientalistas, arquitetos e construtores começaram a desenvolver tecnologias para construções com menor impacto ao meio ambiente, com o uso de fontes alternativas de energia.

Nos anos 80, surgiram os primeiros sistemas de avaliação de desempenho ambiental dos edifícios, sendo o sistema *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* (BREEAM) o primeiro e mais conhecido destes. Em seguida vieram outros sistemas, como o *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED), que atualmente é o método mais utilizado no mercado. Ainda há o método Procel Edifica, sistema de avaliação brasileiro instituído pela ELETROBRÁS/PROCEL em 2003.

Cada método utiliza uma série de critérios para averiguar e atestar se o edifício sob análise está ecologicamente correto, e gastando a menor quantidade de energia possível. Para isso, todos os métodos fazem uso de indicadores de desempenho energéticos.

No entanto, tais indicadores de desempenho são afetados por inúmeros fatores: temperatura externa, quantidade de radiação solar, velocidade do vento, coeficiente de desempenho (COP) do resfriador, entre outros.

O propósito deste trabalho é avaliar diversos indicadores de desempenho quanto à sensibilidade perante a variação de parâmetros relevantes, entre eles a iluminação dos ambientes, quantidade de equipamentos elétricos, quantidade de pessoas por metro quadrado e COP do resfriador do sistema de ar condicionado.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Métodos para avaliação de desempenho de edificações

Existem muitos métodos para a avaliação de desempenho de edificações no planeta. Atualmente praticamente cada país europeu, além de Estados Unidos, Canadá, Japão, Austrália e Hong Kong, possuem seu próprio sistema de avaliação de edifícios.

No trabalho de (Silva, Silva e Agopyan, 2003), os autores citam os métodos mais utilizados, sendo que os métodos BREEAM, HK-BEAM, LEED e CTSB ESCALE ((NIBEL, CHATAGNON e ACHARD, 2000) apud (Silva, Silva e Agopyan, 2003)) têm estrutura mais simples e estão vinculados a algum tipo de certificação de desempenho, enquanto os métodos BEPAC e seu sucessor GBC estão mais voltados para pesquisa.

Ainda segundo Silva (2003), a ênfase do GBC é o desenvolvimento de uma metodologia abrangente e com fundamentação científica, que possa orientar o desenvolvimento de novos sistemas.

Cada um desses sistemas de avaliação de desempenho possui uma área dedicada à energia utilizada e sua redução. Para reduzir a energia de forma eficaz, é de interesse do projetista ou do responsável tornar o edifício existente mais 'sustentável' que se tenha à mão ferramentas simples de utilizar e que representem os fatores mais importantes em gasto energético. Assim, faz-se necessária uma avaliação dos indicadores de desempenho.

Segundo a (Energy Information Administration, 2009), a eletricidade é a segunda maior fonte de energia no Brasil, perdendo apenas para os combustíveis líquidos, que são amplamente utilizados em transportes em todo o mundo. Dentre toda a energia consumida pelos setores de uso final, a eletricidade representa mais de 19%, e especificamente no setor comercial, ela representa praticamente todo o consumo energético. Portanto, para prédios comerciais e de escritório, os consultores de sustentabilidade em edifícios primam por reduzir o consumo de eletricidade local.

3. Normas Técnicas

3.1. ASHRAE 90.1 (2004)

A norma ASHRAE 90.1 tem como objetivo fornecer um conjunto de requisitos mínimos para projetos de eficiência energética de edifícios, excetuando edifícios baixos residenciais.

A norma 90.1 é dividida em 12 seções. O manual da norma 90.1 (Ashrae - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2004) as descreve, referenciando as seções 1, 2, 3, 4 e 12 como administrativas.

As seções 5 a 11 são as seções técnicas da norma. As seções 5 a 10 contêm requisitos técnicos para componentes distintos do projeto do edifício, enquanto a seção 11 oferece uma alternativa de abordagem do edifício como um todo para satisfazer a norma (*Energy Cost Budget Method*).

As seções 5 a 10 são divididas em requisitos mandatórios e requisitos prescritivos. Os requisitos mandatórios devem ser cumpridos sob toda e qualquer circunstância, enquanto os requisitos prescritivos devem ser cumpridos para demonstrar aquiescência à norma 90.1. Já a seção 11 tem métodos alternativos para demonstrar conformidade à norma.

Há também sete diferentes apêndices, sendo que os apêndices A a D são normativos e fazem parte da norma, enquanto os apêndices E e F são informativos. O apêndice G é um procedimento para o cálculo do consumo de energia básico de um edifício, de modo que se possam calcular porcentagens de economia no consumo energético sobre o consumo de energia básico.

O apêndice G orienta para elaboração e simulação de um modelo de edificação de referência e um modelo de edificação proposta, de forma a comparar as duas edificações estabelecendo uma relação entre os seus gastos de energia anual.

3.2. ABNT NBR 16401-1

A norma brasileira ABNT NBR 16401-1 estabelece os parâmetros básicos e os requisitos mínimos para sistemas de ar-condicionado centrais e unitários. A norma se aplica a instalações de ar-condicionado especiais que são regidas por normas específicas (salas limpas, laboratórios, centros cirúrgicos, processos industriais e outras) apenas nos dispositivos que não conflitam com a norma específica. (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2008)

Essa norma define que os novos projetos de edifícios devem incluir cálculos preliminares de cargas térmicas e vazão de ar, além da definição preliminar de equipamentos, localização da casa de máquinas, estrutura do edifício, entre outros.

Para o cálculo de carga térmica, a norma disponibiliza diversas tabelas de fontes internas de calor e umidade. Tais tabelas serão utilizadas neste trabalho para a definição do edifício de referência e posterior cálculo dos índices de desempenho energéticos.

3.3. Indicadores de Desempenho

Para a realização deste trabalho, foi feita uma ampla pesquisa entre os artigos e teses disponíveis sobre consumo energético e redução, além de artigos sobre indicadores de desempenho de prédios.

Os indicadores podem ser diretamente relacionados à energia, como o indicador kWh/m².ano, ou podem demonstrar o uso energético de forma indireta, como o indicador \$/kWh, que indica a quantidade de valor monetário para representar o gasto de energia.

3.4. Indicadores Escolhidos

Dentre os indicadores mencionados no item 3.3, os que apresentaram algum tipo de normalização são o NAC (Zmeureanu, 1992) e o NPI (Canbay, Hepbasli e Gokcen, 2004).

O NAC foi descartado para utilização no presente trabalho, pois alguns detalhes no método de cálculo, como o cálculo do consumo energético de referência, não estão claramente definidos, gerando alguns resultados absurdos, como uma temperatura de referência de -99°C. A ausência de clareza impossibilitou a utilização do índice.

O NPI é um método de normalização do consumo energético adotado pelo Escritório de Eficiência Energética do Departamento de Meio Ambiente do Reino Unido (*Energy Efficiency Office, Department of the Environment, UK*) que normaliza o consumo energético por área de um edifício pelas suas condições de exposição e pelo clima da região. Seu cálculo é apresentado na Tabela 3.2, com as duas modificações citadas no item 3.4.1.

O cálculo deste índice é baseado no nível de exposição que um prédio possui e no número de Graus-Dia que há no ano em relação a um número típico de graus-dia na região. O fator de exposição pode ser obtido na Tabela 3.1, encontrada em (Canbay, 2003).

Tabela 3.1 – Fator de Exposição (Canbay, 2003)

Condição	Fator de Exposição
<i>Abrigado: O edifício está em uma área construída rodeado por edifícios de altura similar ou maior. Esta configuração se aplica à maioria dos centros urbanos.</i>	1,1
<i>Normal: O edifício tem poucos vizinhos, em área urbana ou rural. Pode haver a existência de árvores ou prédios adjacentes.</i>	1,0

Tabela 3.1 – Fator de Exposição (Canbay, 2003)

Condição	Fator de Exposição
<i>Exposto: Locais na costa litorânea ou em Colinas, com pouco ou nenhum obstáculo próximo.</i>	0,9

Já o cálculo do fator de correção do clima é mais complexo. É uma divisão entre o número de graus-dia típico da região pelo número de graus-dia contabilizado no ano. Uma explicação mais detalhada será fornecida no próximo item.

3.4.1. Graus Dia

O conceito de graus-dia foi desenvolvido para tentar buscar uma representação simples de qual seria a demanda de energia requerida para aquecimento ou resfriamento, assegurando níveis habitáveis de conforto (Goulart, Lamberts e Firmino, 1998). Graus dia é um parâmetro climático que pode ser definido como o somatório da diferença de temperatura, quando esta se encontra abaixo (ou acima, no caso de graus dia de refrigeração) de uma temperatura base (T_b), definida pelo projetista. Ou seja, quando a temperatura média diária for menor que T_b, calcula-se a diferença (T_b-T_{méd}), somando-se essas diferenças, dia a dia, para todo o ano.

O índice NPI utiliza este conceito. O fator de correção climático utilizado por Canbay nada mais é que o número de graus dia de aquecimento típico para uma temperatura base de 15,5 °C para o Reino Unido (2462) sobre o número de graus dia para aquecimento do ano em que o edifício foi avaliado em seu trabalho.

O artigo “Degree Days – Handle With Care!” fornecido pela empresa *Business Energy Efficiency Software* em seu site (BizEE Software Ltd., 2009) indica que a temperatura base deve ser escolhida individualmente para cada edifício, e que usualmente é escolhida com base no ganho de calor médio típico (3,5 °C), acima ou abaixo da temperatura a qual se deve manter o ar no interior do edifício.

Para a utilização deste índice de desempenho, são propostas duas modificações:

- O edifício referência deste trabalho utiliza muita energia em refrigeração. Portanto, deve ser aplicado um fator de correção climático ao consumo energético de refrigeração.
- Segundo (Goulart, Lamberts e Firmino, 1998), alguns dos climas escolhidos para o estudo proposto não possuem graus-dia, ou os possuem em quantidade irrelevante. Então, consideraremos típica a quantidade de graus-dia média dos últimos 36 meses de cada localidade, disponível no site www.degreedays.net (BizEE Software Ltd., 2009)

Com estas duas modificações, o cálculo do índice NPI proposto será feito de acordo com a Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Cálculo do NPI modificado para refrigeração

Parâmetro	Cálculo
Consumo de Energia Total (kWh)	A
Energia de Aquecimento (kWh)	B
Energia de Refrigeração (kWh)	B2
Energia que não é usada em aquecimento ou Refrigeração (kWh)	$C = A - B - B2$
Número de Graus Dia para os dados de energia do ano simulado	D
Número de graus dia típico (baseado nos últimos 36 meses disponíveis pelo site www.degreedays.net (BizEE Software Ltd., 2009))	T
Fator de Correção Climático	$E = T / D$
Fator de Exposição do Edifício	F
Uso anual de energia de aquecimento para condições padrão (kWh)	$G = B * E * F$
Uso anual de energia de refrigeração para condições padrão (kWh)	$I = B2 * E * F$
Uso Normalizado de Energia (kWh)	$H = C + G + I$
Área dos andares (m ²)	J
Índice de Performance Normalizado (NPI) (kWh/m ²)	$K = H / J$

3.5. Metodologia para avaliação de indicadores

O presente trabalho propõe criar um edifício de referência, e a partir deste criar oito modelos de edifícios propostos, cada qual com uma modificação distinta em um dos quatro principais parâmetros que afetam significativamente o consumo energético anual da edificação.

Em seguida, os modelos serão simulados para quatro climas de localidades brasileiras distintas, sendo elas: Belém, Brasília, Rio de Janeiro e São Paulo.

Por fim, será analisada a sensibilidade do NPI, perante a variação dos seguintes parâmetros:

- Potência utilizada para equipamentos elétricos por metro quadrado;
- Potência utilizada para iluminação por metro quadrado;
- Potência liberada pelas pessoas no ambiente por metro quadrado;
- COP do Resfriador.

4. Caracterização de uma edificação de referência

4.1. Geometria

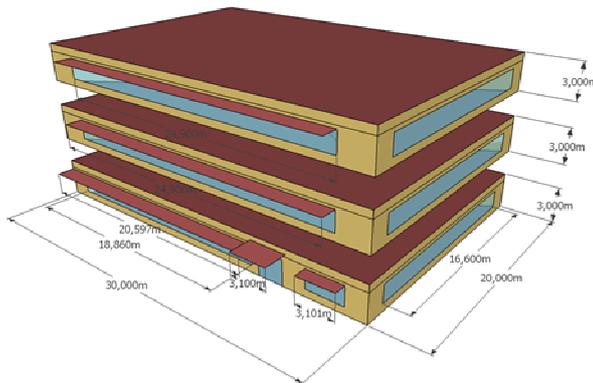


Figura 4.2 – Modelo Tridimensional dos três andares típicos utilizados no modelo computacional.

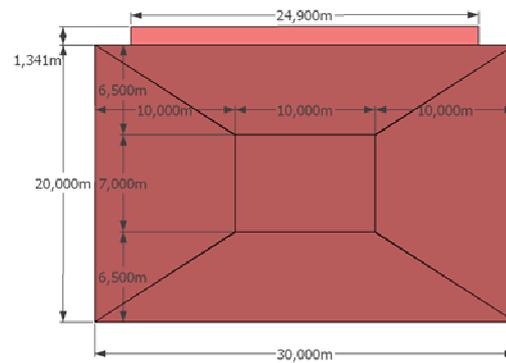


Figura 4.2 – Zonas térmicas e brises de um pavimento do edifício

A geometria inicial do edifício referência foi baseada em um modelo de escritório simples, de formato retangular e zonas térmicas representadas pelas áreas próximas às janelas e pela área mais distante da janela.

O prédio simulado possuirá 25 andares, sendo modelado por três diferentes tipos de pavimento, o térreo, a cobertura e o pavimento intermediário. O pavimento intermediário será multiplicado por 23, para completar os 25 andares propostos.

Cada andar possui cinco zonas térmicas, conforme ilustrado na Figura 4.2. Essas zonas térmicas são delimitadas pelas paredes externas do andar, chão, forro e por paredes falsas. A zona térmica central não é climatizada, pois é usualmente utilizada para instalação de elevadores e *hall* de entrada. Essas paredes falsas tiveram suas propriedades ajustadas para permitirem a transferência quase total de carga térmica entre seus dois lados, causando o mínimo de interferência na simulação. Suas propriedades estão descritas na Tabela 4.1.

Ainda existe uma sexta zona térmica que foi modelada para cada andar, o *plenum* ou entreforro, que é o espaço entre o forro de um andar e o teto deste andar, onde acontece a circulação de ar para o *sistema de ar condicionado* e eventualmente é onde passam os cabos de redes de computadores e eletricidade. O *plenum* não é climatizado.

4.2. Materiais

Os materiais utilizados para a simulação dos forros, janelas, portas e chão são os mesmos utilizados na construção da maioria dos prédios de escritório do Brasil, e estão descritos na Tabela 4.1, e Tabela 4.2:

Tabela 4.1 – Propriedades dos materiais utilizados no pavimento tipo, e propriedades das paredes falsas

Material	Condutividade Térmica (W/m.K)	Densidade (kg/m ³)	Calor Específico (J/kg.K)	Espessura (m)
Argamassa	0,65	1600	754	0,02
Bloco de Concreto	0,91	1700	1005	0,19
Concreto do Teto	1,28	2000	754	0,025
Concreto do Piso	0,15	1300	910	0,3
Isopor	0,04	30	1000	0,1225
Gesso	0,35	1200	910	0,015
Parede Falsa	1000	100	100	0,001

Tabela 4.2 – Propriedades do vidro utilizado na janela do pavimento tipo

Material	Condutividade Térmica (W/m.K)	Transmitância Visível	Transmitância Solar	Espessura (mm)
Vidro	0,9	0,881	0,775	3 ou 6

A disposição de materiais utilizados nas paredes, telhado, forro, piso e janelas está relatada na Tabela 4.3:

Tabela 4.3 – Materiais utilizados em cada elemento da geometria

Paredes Externas	Teto	Piso	Forro	Porta de Vidro	Janela
Argamassa	Concreto do	Concreto do	Gesso	Uma	Dois camadas de vidro e

Bloco de Concreto Argamassa	Teto Camada de Ar Isopor	Piso		camada de vidro	uma de ar
-----------------------------	--------------------------	------	--	-----------------	-----------

A razão entre a área envidraçada e a área de fachada (WWR – *window-wall ratio*) é 41,5%, abaixo do limite da norma ASHRAE 90.1 de 2004, que estabelece que a WWR deva ser igual ou menor que 50%.

4.3. Ocupação

A ocupação utilizada foi baseada nos exemplos do *Energy Plus 4.0*, e é escrita em termos da fração do número máximo de pessoas que ocupam o ambiente. No caso, o método para o cálculo deste valor é a definição da área utilizada por cada ocupante, que segundo a norma ABNT NBR 16401-1 é de 11,6 m²/pessoa para cada posto de trabalho com computador, monitor, impressora e fax.

Há também que se definir as características de ganho em carga térmica para cada ocupante, e novamente segundo a norma ABNT NBR 16401-1, o valor mais compatível com o tipo de atividades que ocorrem em um edifício de escritórios é 115 W/pessoa, para um trabalho leve, sentado, e com o valor ajustado para uma porcentagem normal de homens, mulheres e crianças para esta aplicação, postulando-se que o calor liberado por uma mulher adulta é aproximadamente 85% daquele liberado por um homem adulto, e o calor liberado por uma criança é aproximadamente 75% daquele liberado por um homem adulto.

Os perfis de ocupação foram retirados do manual da norma 90.1 (Ashrae - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2004).

4.4. Sistemas consumidores de energia

Os sistemas consumidores de energia dentro de um edifício influenciam direta ou indiretamente a carga térmica de cada zona térmica presente no edifício. Devem ser levados em consideração e simulados da forma mais fidedigna possível.

Em um edifício de escritórios, os principais sistemas que influenciam nas cargas térmicas são condicionamento de ar e ventilação, iluminação e equipamentos elétricos utilizados (no caso, computadores e elevadores). Seus cronogramas de funcionamento estão descritos no manual da norma ASHRAE 90.1, Tabela G-I, página G-42. (Ashrae - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2004)

4.4.1. Ar Condicionado

O programa *Energy Plus* é capaz de simular diversos cenários de sistemas de ar condicionado. O sistema escolhido para o modelo computacional deste trabalho é baseado em um sistema de refrigeração e aquecimento com dutos de ventilação, caldeiras e *resfriadores*. Para este sistema, o *software* necessita que sejam especificados os controles de termostato, as propriedades dos dutos de ventilação, as propriedades dos ciclos de água gelada e água quente, as propriedades dos *resfriadores*, as propriedades da torre de refrigeração, os cronogramas de funcionamento do sistema e o período que o sistema será simulado (ano, datas específicas ou dia de projeto). Mesmo que não exista a necessidade de aquecimento no edifício, os objetos relativos à caldeira e ao circuito de água quente devem ser inseridos, de forma a evitar erros numéricos e de convergência no *software*.

A figura Figura 4.3 mostra que nos horários de 7 a 21 horas, de segunda a sexta feira, o sistema mantém a temperatura interna da zona térmica em 24° C.

4.4.2. Iluminação

O perfil de iluminação utilizado é escrito em termos da fração da potência de iluminação máxima em um ambiente. No caso, o método para o cálculo deste valor é a definição da quantidade de Watts por área, que segundo a norma ABNT NBR 16401-1 é de 16 W/m², para escritórios e bancos.

4.4.3. Equipamentos Elétricos Internos à Edificação

O perfil de equipamentos elétricos utilizado é escrito em termos da fração da potência elétrica máxima em um ambiente (excetuando a potência destinada à iluminação e condicionamento de ar). No caso, o método para o cálculo deste valor é a definição da quantidade de Watts por área, que segundo a norma ABNT NBR 16401-1 é de 10,7 W/m², segundo o espaço ocupado de 11,6 m²/pessoa, com um computador, monitor, fax e impressora.

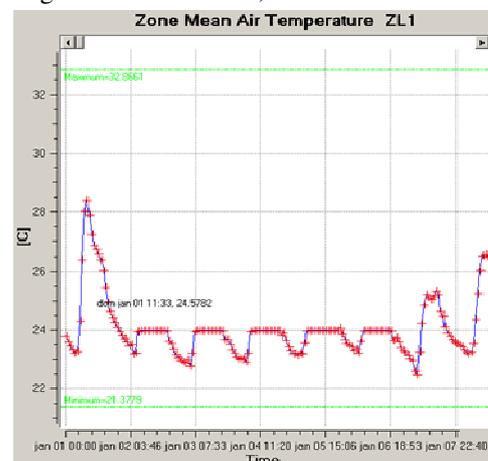


Figura 4.3 – Temperatura na zona térmica de face leste do andar térreo no edifício de referência. Simulação para o clima de São Paulo.

4.4.4. Elevadores

O perfil de elevadores utilizado é escrito em termos da fração da potência elétrica máxima utilizável pelos elevadores por metro quadrado do edifício.

Segundo a norma NBR 5665, para atender um edifício comercial de 600 m² de planta baixa e 25 andares, é necessário utilizar a relação de 7m² por pessoa para calcular a demanda populacional, e então calcular a capacidade de atendimento dessa demanda a partir do número de elevadores, sua velocidade, capacidade de carga, percurso e número de paradas. O site da empresa de elevadores ThyssenKrupp fornece uma ferramenta baseada nesta norma, o “calculador de tráfego” (ThyssenKrupp, 2009). Com esta ferramenta, foi averiguado que para o edifício referência, utilizando dados de elevadores da ThyssenKrupp, linha Amazon, que atingem uma velocidade de 0,9 m/s e têm capacidade para 14 pessoas, são necessários dez elevadores, sendo que cinco abrangem os 13 primeiros andares e cinco abrangem os 12 últimos.

Esses elevadores são posicionados nas zonas térmicas centrais de cada andar, e utilizam em conjunto 19,9 W/m² de área do edifício.

5. Avaliação do Perfil de Consumo de Energia

5.1. Matriz energética

A matriz energética do edifício simulado pode ser verificada na Figura 5.1. Podemos observar que os valores condizem com a matriz energética de um edifício de escritórios, pois, segundo (Lamberts, Dutra e Pereira, 1997), um edifício de escritórios possui, em média, um consumo elétrico relativo à iluminação de 24%, um consumo elétrico relativo aos equipamentos de escritório de 15%, um consumo relativo ao uso de elevadores de 13% e um consumo elétrico relativo ao condicionamento de ar de 48%.

5.2. Perfis de consumo elétrico

O consumo elétrico e o perfil de consumo elétrico anuais do edifício simulado podem ser observados respectivamente na Figura 6.1 e Figura 6.2.

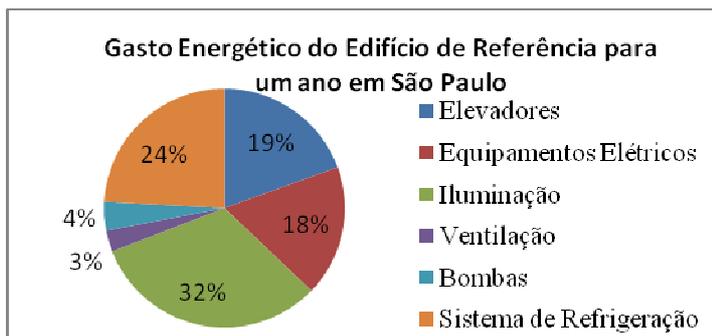


Figura 5.1 – Consumo elétrico do edifício simulado por tipo de equipamento, em um ano, para o arquivo de clima de São Paulo, Congonhas

6. Simulações

6.1. Simulação Inicial

O Energy Plus é um software de simulação que realiza análises energéticas e cálculos de carga térmica. Baseado em uma descrição de um edifício feita pelo usuário, sob perspectiva das suas características físicas, sistemas mecânicos associados, entre outros, o programa calculará cargas de refrigeração e aquecimento, necessárias para manter controle térmico do ambiente, condições através de um sistema de ar condicionado secundário e cargas nas serpentinas,

e consumo energético de equipamentos da planta primária assim como muitos outros detalhes da simulação que são necessários para averiguar que o edifício simulado está se comportando como um edifício real se comportaria.

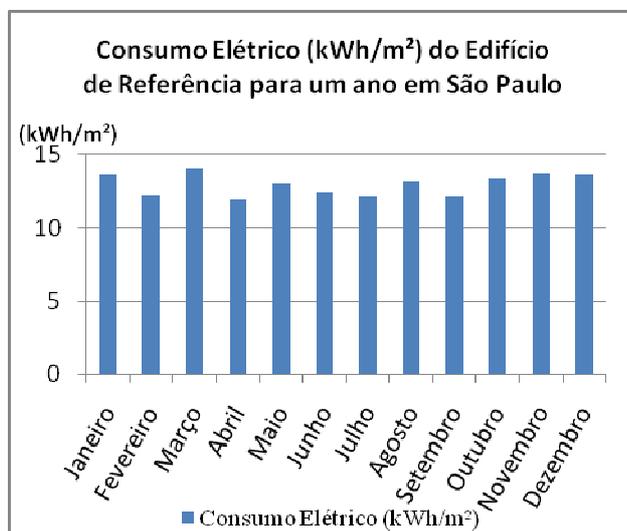


Figura 6.1 – Consumo Elétrico do edifício simulado ao longo de um ano, para o arquivo de clima de São Paulo, Congonhas (U.S. Department of Energy, 2009)

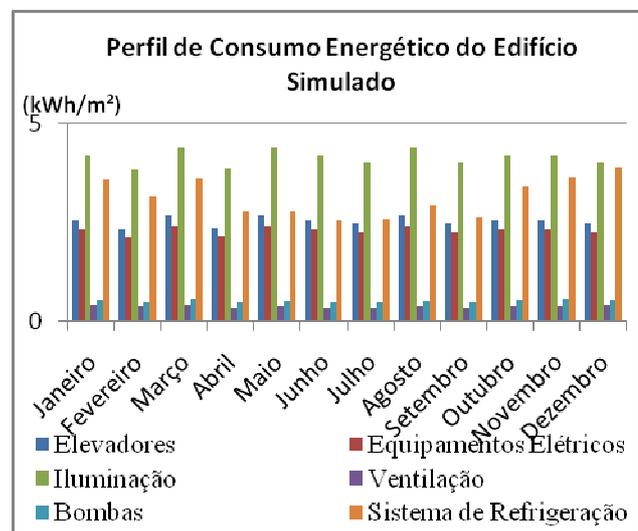


Figura 6.2 – Perfil de Consumo Elétrico do Edifício Simulado, para o arquivo de clima de São Paulo, Congonhas (U.S. Department of Energy, 2009)

Para realizar a análise qualitativa dos indicadores escolhidos, foram realizadas simulações de um ano de funcionamento para os climas de Belém, Brasília, São Paulo e Rio de Janeiro, e em seguida foram variados os diversos parâmetros descritos no item 3.4. Os resultados obtidos serão mostrados a seguir.

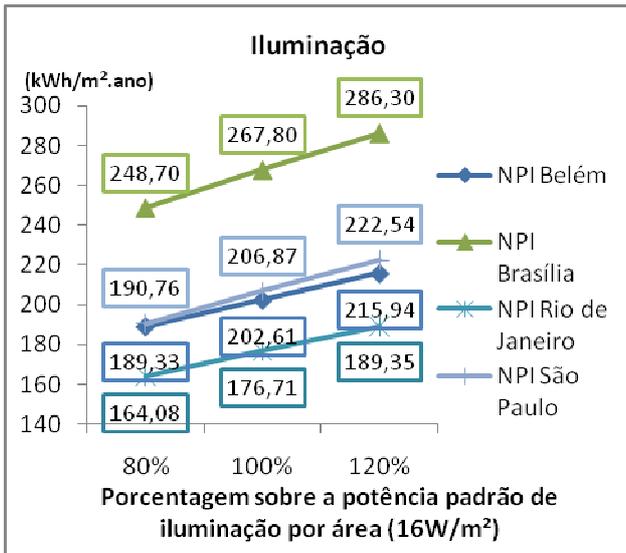


Figura 6.8 – NPI em função do parâmetro de luminosidade

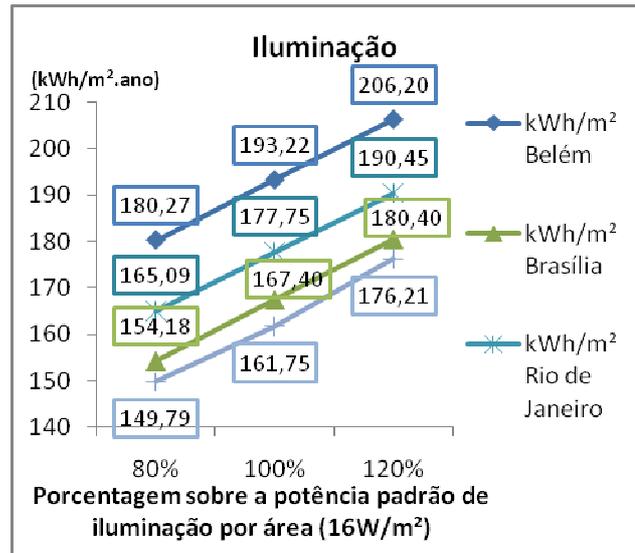


Figura 6.8 – Consumo elétrico sobre a área do edifício em função do parâmetro de luminosidade

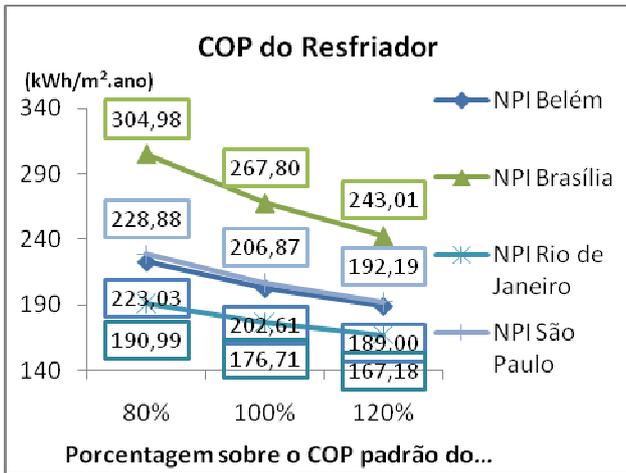


Figura 6.8 – NPI em função do COP do Resfriador

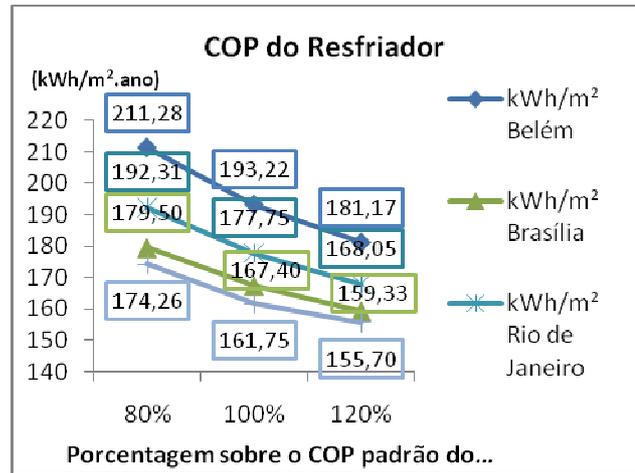


Figura 6.8 – Consumo elétrico sobre a área em função do COP do Resfriador

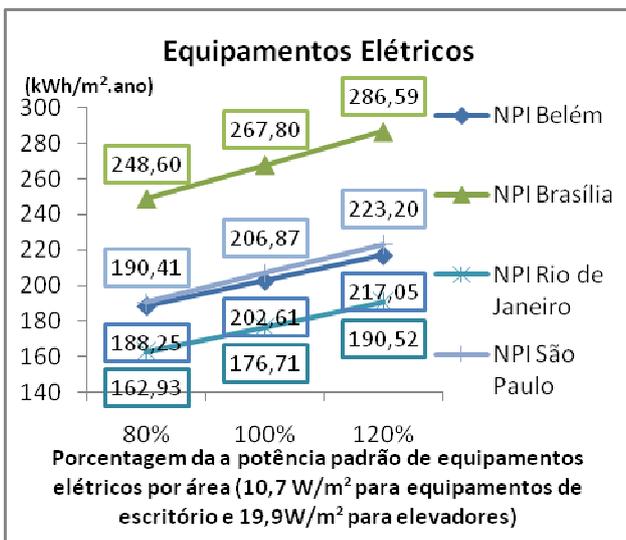


Figura 6.8 – NPI em função da variação da potência utilizada por equipamentos elétricos

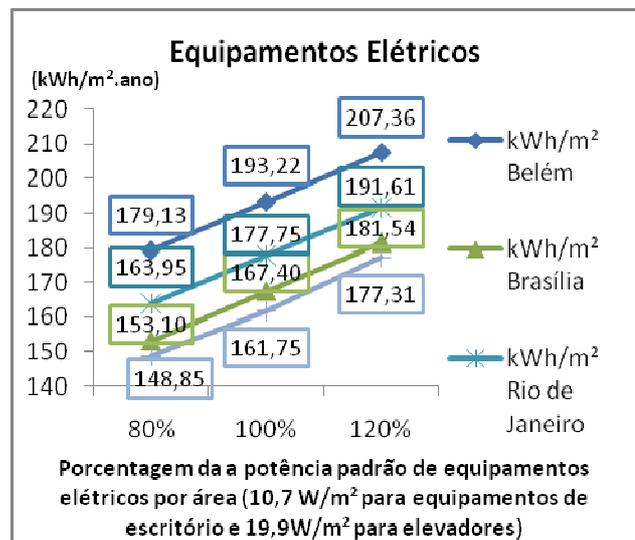


Figura 6.8 – Consumo elétrico sobre área em função da potência utilizada por equipamentos elétricos

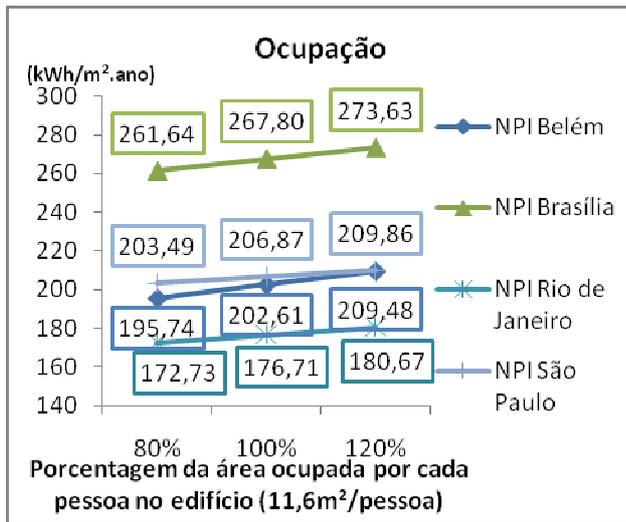


Figura 6.10 – NPI em função do parâmetro de ocupação

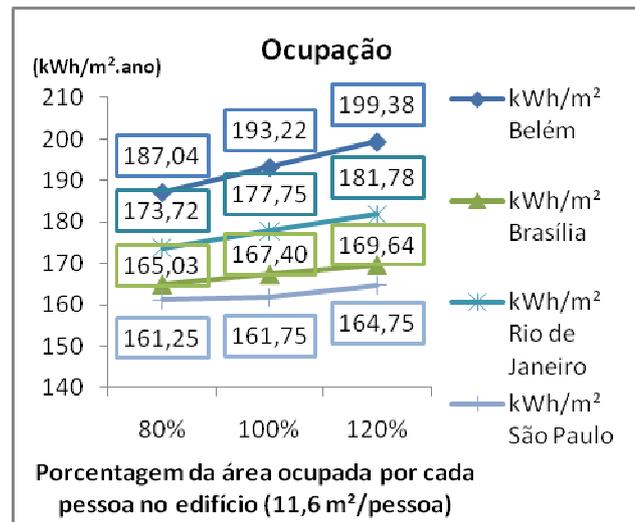


Figura 6.10 – Consumo elétrico sobre área em função do parâmetro de ocupação

7. Resultados

Depois de realizadas as simulações, foram obtidos os resultados mostrados na Tabela 7.1. Nos valores apresentados, realizaram-se avaliações a partir das variações nos parâmetros de ocupação, iluminação, equipamentos elétricos e COP do resfriador, que estão descritas com mais detalhes no item anterior. Cabe notar que a maior variação dentre os índices está no clima de Brasília, para o índice NPI, e também que as variações dos índices para o clima do Rio de Janeiro são praticamente iguais.

Tabela 7.1 – Sensibilidade dos indicadores para os diversos tipos de clima

Localidade	Indicador	Faixa de Valores
Belém	kWh/m².ano	180,27 a 211,28 kWh/m².ano – variação de aproximadamente 8,02% sobre o valor de referência (193,22 kWh/m².ano)
Belém	NPI	188,24 a 223,03 kWh/m².ano – variação de aproximadamente 8,59% sobre o valor de referência (202,62 kWh/m².ano)
Brasília	kWh/m².ano	153,1 a 181,54 kWh/m².ano – variação de aproximadamente 8,49% sobre o valor de referência (167,4 kWh/m².ano)
Brasília	NPI	243,01 a 304,98 kWh/m².ano – variação de aproximadamente 11,57% sobre o valor de referência (267,8 kWh/m².ano)
Rio de Janeiro	kWh/m².ano	163,95 a 192,31 kWh/m².ano – variação de aproximadamente 7,98% sobre o valor de referência (177,75 kWh/m².ano)
Rio de Janeiro	NPI	162,93 a 190,99 kWh/m².ano – variação de aproximadamente 7,94% sobre o valor de referência (176,7 kWh/m².ano)
São Paulo	kWh/m².ano	148,85 a 177,31 kWh/m².ano – variação de aproximadamente 8,80% sobre o valor de referência (161,75 kWh/m².ano)
São Paulo	NPI	190,41 a 228,88 kWh/m².ano – variação de aproximadamente 9,30% sobre o valor de referência (206,86 kWh/m².ano)

8. Análise de Sensibilidade

Ao analisar os dados coletados, podemos verificar que, dentre os parâmetros variados entre as simulações, aquele que mais afeta o consumo energético é o COP do resfriador, ou seja, a capacidade do sistema de refrigeração. A variação percentual do NPI devido à variação do COP chega a ser 11,6%, para os dados climáticos de Brasília durante o ano de simulação. Ainda analisando as variações percentuais, rearranjados na Tabela 8.1, temos um fato interessante: o Rio de Janeiro apresenta valores de indicadores muito semelhantes para cada simulação, assim como valores muito semelhantes nas variações percentuais desses indicadores (calculadas a partir da variação dos parâmetros do edifício listadas no item 0). Isso pode indicar que o clima não é um fator que afeta significativamente a simulação do edifício no Rio de Janeiro, ou que outros fatores relevantes do clima (como umidade relativa do ar e velocidade do vento) auxiliam a reduzir a carga térmica necessária para refrigerar o interior do prédio.

Tabela 8.1 – Comparação das variações percentuais, entre NPI e Consumo/área, que ocorrem ao variarmos os

parâmetros de simulação

Belém	Ocupação	Iluminação	Equipamentos	COP
kWh/m ² .ano	3,19%	6,71%	7,30%	7,79%
NPI	3,39%	6,57%	7,11%	8,40%
Δ NPI é maior ou menor que Δ kWh/m ² .ano?	Maior	Menor	Menor	Maior
Brasília	Ocupação	Iluminação	Equipamentos	COP
kWh/m ² .ano	1,37%	7,83%	8,49%	6,03%
NPI	2,24%	7,02%	7,09%	11,57%
Δ NPI é maior ou menor que Δ kWh/m ² .ano?	Maior	Menor	Menor	Maior
Rio de Janeiro	Ocupação	Iluminação	Equipamentos	COP
kWh/m ² .ano	2,27%	7,13%	7,78%	6,82%
NPI	2,25%	7,15%	7,81%	6,74%
Δ NPI é maior ou menor que Δ kWh/m ² .ano?	Menor (~ igual)	Maior (~ igual)	Maior (~ igual)	Menor (~ igual)
São Paulo	Ocupação	Iluminação	Equipamentos	COP
kWh/m ² .ano	1,08%	8,17%	8,80%	5,74%
NPI	1,54%	7,68%	7,92%	8,87%
Δ NPI é maior ou menor que Δ kWh/m ² .ano?	Maior	Menor	Menor	Maior

9. Conclusões e Recomendações

O propósito deste trabalho é avaliar a sensibilidade de dois dentre os diversos índices de desempenho energético de edifícios utilizados no mercado perante a variação de parâmetros de simulação que alteram a carga térmica do edifício.

Durante o trabalho, foi constatado que a energia gasta no edifício é mais sensível à variação do COP do resfriador. Os dois índices avaliados comportam-se da mesma maneira. Podemos ainda verificar que o índice de consumo simples (kWh/m².ano) está dentro da faixa de índices de consumo que são encontradas na literatura, resumidos na Tabela 9.1. O consumo variou de 161,75 kWh/m².ano (caso base para São Paulo) a 193,22 kWh/m².ano (caso base para Belém).

Tabela 9.1 – Comparação de consumos elétricos entre diversos edifícios de escritórios encontrados na literatura

Edifício	Características Distintas	Localização	Faixa de Consumo	Referência
Edifício Sede da Fiesc	4 andares, 50x50m, vão central de 20x20m coberto por acrílico e bloco anexo de 900 m ²	Florianópolis	100,71 kWh/m ² .ano	(Westphal, Ghisi e Lamberts, 1998)
Edifício de Escritórios	-	Tailândia	238,71 kWh/m ² .ano	(Kofoworola e Gheewala, 2009)
Edifício Simulado	12 pavimentos 20m x 40m x 3m	Florianópolis	141,7 kWh/m ² .ano	(Signor, 1999)
Edifício de Escritórios	4 pavimentos 20x30m	Omaha, Nebraska, EUA	102 kWh/m ² .ano	(Henze, et al., 2008)
Shopping Center	-	Quanyechang, China	239,8 kWh/m ² .ano	(Zhao, Zhu e Wu, 2009)
Edifício de Escritórios	-	EUA	293 kWh/m ² .ano	(Pérez-Lombard, Ortiz e Pout, 2008)
Edifício de Escritórios	-	Atenas, Grécia	128,6 kWh/m ² .ano	(ARGIRIOU, et al., 1994)

Além disso, os consumos são diretamente relacionados com as respectivas temperaturas de bulbo seco dos climas: para Belém, que possui as maiores temperaturas, o consumo foi de 193,22 kWh/m².ano, enquanto para São Paulo, que possui as menores temperaturas, o consumo foi de 161,75 kWh/m².ano.

No início do trabalho, havia uma expectativa quanto ao comportamento do NPI para os diversos climas: esperava-se que os índices seriam muito parecidos depois de aplicado o método de normalização do consumo, talvez com uma pequena variação de até 10% entre si. No entanto, não foi esse o comportamento apresentado. Os índices NPI para os edifícios de referência apresentaram uma faixa de valores maior para os diferentes climas que a faixa de valores do consumo elétrico sobre a área total do edifício. Foi realizada uma última tentativa de reduzir a faixa dos NPI, incluindo no cálculo o consumo devido à ventilação e bombas, mas isso resultou em uma ampliação ainda maior do intervalo.

Conforme dito no item 8, podem existir fatores de clima que afetam o cálculo do NPI, como irradiação solar (direta, difusa pelo solo e refletida pelo solo), umidade relativa do ar, pressão atmosférica, direção e velocidade do vento, além da temperatura de bulbo seco utilizada para o cálculo dos Grau-dia. É necessária uma análise posterior para estabelecer

uma correlação entre esses fatores e o número de graus dia de uma determinada localidade, para então calcular um fator de correção climático que reduza a influência do clima sobre o consumo energético.

10. Referências

- ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. 90.1 User's Manual ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1-2004, Atlanta, 2004.
- ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. Standard 90.1: Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings, Atlanta, n. SI Edition, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16401-1: Instalações de ar-condicionado — Sistemas centrais e unitários. Parte 1: Projetos das Instalações, Rio de Janeiro, 2008.
- BIZEE SOFTWARE LTD. Degree Days - Custom Degree Day Data. **Site da Business Energy Efficiency Software**, 2009. Disponível em: <<http://www.degreedays.net/>>. Acesso em: Dezembro 2009.
- BIZEE SOFTWARE LTD. Degree Days - Handle with Care! **Site da Business Energy Efficiency Software**, 2009. Disponível em: <<http://www.energylens.com/articles/degree-days>>. Acesso em: Dezembro 2009.
- CANBAY, Ç. S. **Optimization of HVAC Control Strategies By Building Management Systems. Case Study: Özdilek Shopping Center**. 2003. 99p. Tese de Mestrado. Izmir Institute of Technology, Izmir, Turkey, 2003.
- CANBAY, Ç. S.; HEPBASLI, A.; GOKCEN, G. Evaluating performance indices of a shopping centre and implementing HVAC control principles to minimize energy usage. **Energy And Buildings**, n. 36, p. 587-598, 2004.
- GOULART, S.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. **Dados Climáticos para Projeto e Avaliação Energética de Edificações para 14 Cidades Brasileiras**. 2ª Edição. ed. Florianópolis: Núcleo de Pesquisa em Construção/UFSC, 1998.
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. São Paulo: PW Gráficos e Editores Associados, 1997.
- NIBEL, S.; CHATAGNON, N.; ACHARD, G. E. **Assessment Method of Buildings**. INTERNATIONAL CONFERENCE SUSTAINABLE BUILDING. Maastrich: Proceedings. Maastrich: NOVEM; CIB; GBC. 2000.
- SILVA, V. G. D.; SILVA, M. G. D.; AGOPYAN, V. Avaliação de edifícios no Brasil: da avaliação ambiental para avaliação de sustentabilidade. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 3, n. 3, p. 7-18, 25 Abril 2003. ISSN ISSN 1415-8876.
- THYSSENKRUPP. Calculador de Tráfego. **Site da empresa Thyssen Krupp**, 2009. Disponível em: <http://www.thyssenkruppelevadores.com.br/sitenovo/site/simuladores-e-tutoriais/zip/calculo_trafego.zip>. Acesso em: Dezembro 2009.
- U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. Weather Data. **Site do EnergyPlus Energy Simulation Software**, 2009. Disponível em: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata/3_south_america_wmo_region_3/BRA_Sao.Paulo-Congonhas.837800_SWERA.epw>. Acesso em: 2009.
- ZMEUREANU, R. A new method for evaluating the normalized energy consumption in office buildings. **Energy**, n. 17, p. 235-246, 1992.

PERFORMANCE INDEXES' EVALUATION ON CONDITIONED BUILDINGS

José Eduardo Corrêa Santana e Silva
jose.edu@gmail.com

Abstract. *This report is intended to define and simulate a conditioned building that follows the ASHRAE 90.1 (2004) and ABNT NBR 16401-1 (2008) Standards. Afterwards an analysis of sensibility for performance indexes is done. The simulations were performed at Energy Plus 4.0, recognized as an important tool for energy consumption and profiles prediction of a sustainable building. The floor model was defined, concerning the building materials, the thermal zones' quantity and dimensions and the window-wall ratio. The author searched for the most used energy performance indexes available, and some of those were selected for a sensibility analysis regarding parameters that have great influence on the building's thermal load for four different climates.*

Keywords: 1. Performance Indices 2. Buildings 3. Energy (efficiency).