

AVALIAÇÃO DE ÍNDICES DE CONSUMO DE ENERGIA PARA SUPERMERCADOS

Natashe Nicoli Branco

natashebranco@yahoo.com.br

Resumo. Este trabalho apresenta índices de referência de consumo de energia para supermercados localizados em cinco cidades brasileiras: Brasília, Porto Alegre, Rio de Janeiro e São Paulo. O método adotado baseia-se no desenvolvimento de uma edificação de referência de um supermercado segundo a norma ASHRAE 90.1- 2004. O projeto inclui os sistemas de climatização, refrigeração, distribuição de água, além das cargas internas (iluminação, equipamentos e pessoas) e características construtivas da envoltória, como materiais das paredes, piso, teto, janelas e área envidraçada. A edificação foi simulada no Energy Plus – aplicativo que fornece dados de consumo de energia – para cinco regiões citadas acima. Os resultados permitem observar a influência do clima no consumo de energia, realizar uma análise de sensibilidade do consumo de energia da edificação e determinar índices de referência de consumo de energia para supermercados.

Palavras chave: Ar condicionado, consumo de energia, índices de referência, refrigeração, supermercados.

1. Introdução

Sabe-se que a energia elétrica é um recurso caro e obtido, muitas vezes, de forma não renovável. Seu uso excessivo e pouco eficiente tem preocupado muitas pessoas conscientes do problema que isso poderá acarretar. Por esse motivo, o termo “desenvolvimento sustentável” vem sendo muito utilizado. Trata-se de uma tentativa de harmonizar o desenvolvimento econômico com a conservação ambiental, de forma que as necessidades da geração atual sejam supridas, sem comprometer a capacidade de atender as necessidades das futuras gerações. (PINTO, 2005)

Uma grande parcela da energia disponibilizada no mundo é produzida pela queima de combustíveis fósseis. Estes, além de não serem renováveis, quando sofrem combustão liberam gases como o monóxido de carbono, dióxido de enxofre, óxidos de nitrogênio, entre outros, que são nocivos à saúde humana e ao meio ambiente. Além destes, produzem também o dióxido de carbono (CO₂), gás considerado um dos principais responsáveis pela elevação da temperatura terrestre (efeito estufa). Esse fenômeno tem causado problemas graves, como o excesso de chuvas em algumas regiões, secas em outras, derretimento de geleiras nos pólos, destruição de florestas, morte de animais, entre outros.

Outro fato que vem agredindo o meio ambiente refere-se às emissões de fluidos refrigerantes. De acordo com o Manual de Boas Práticas em Supermercados (2009), o Brasil libera para a atmosfera toneladas de fluidos refrigerantes – clorofluorcarbonos (CFCs) e hidroclorofluorcarbonos (HCFCs) – por ano, o que representa uma das maiores taxas de emissão do mundo. Eles degradam a camada de ozônio e também contribuem para a elevação da temperatura global (efeito estufa). Os supermercados utilizam estes fluidos nos sistemas de refrigeração e apresentam as maiores taxas de emissões. Em alguns casos, o desperdício se aproxima de 100% e, por isso, são responsáveis por cerca de 40% do total das emissões do país (Brasil).

Além das emissões de fluidos refrigerantes, os supermercados enfrentam outro problema: os altos níveis de consumo de energia.

Marchio e Ophelin (2006) afirmam que o consumo de energia de grandes supermercados, localizados na França e nos Estados Unidos, representa 4% da energia elétrica utilizada nestes países. Sendo que 50% a 70% desta energia são destinados aos sistemas de refrigeração e climatização, o que equivale, aproximadamente, a 400 kWh/m²/ano.

Segundo Panesi (2008), os supermercados brasileiros operam com margem de lucro pequena, por isso os custos de energia representam um papel importante em sua competitividade e eficácia. A maior parte do consumo é destinada às instalações de ar condicionado e refrigeração. Em alguns casos, equipamentos de refrigeração e congelamento são responsáveis por até 70% do consumo total de energia da loja. Por isso, esses sistemas devem ser regularmente inspecionados, controlados e, se necessário, substituídos por outros mais eficientes.

As preocupações com o meio ambiente, sustentabilidade, suprimento de energia no longo prazo e com fatores econômicos, como a recente crise financeira iniciada nos Estados Unidos, que afetou tanto países desenvolvidos como subdesenvolvidos, tem incentivado os governos a investirem em programas que visem o uso da energia disponibilizada com responsabilidade ambiental e social, eliminando desperdícios e cooperando com o desenvolvimento sustentável. Além desses fatores têm-se a necessidade de redução de custos.

“A conservação de energia engloba não apenas a quantidade de energia primária necessária para propiciar o consumo de um mesmo nível de energia útil, mas, principalmente, a construção de um estilo de desenvolvimento, que implique no mais baixo perfil de demanda de energia útil para um mesmo padrão de satisfação das necessidades sociais e ambientais.” (BERNSEN, 2007)

Visando a redução e o controle das emissões de CO₂, em 1997 ocorreu uma reunião na cidade de Quioto no Japão, com representantes de 159 nações e que resultou na adoção de um protocolo. O Protocolo de Quioto entrou em vigor em 16 de fevereiro de 2005 e define que os países industrializados devem reduzir pelo menos 5,2% suas emissões em relação aos níveis de 1990, sendo penalizados caso não o façam. Liberar menos gases nocivos não significa apenas

desenvolver formas “limpas” de produção de energia, como solar ou eólica, mas sim utilizá-la da melhor maneira possível.

Outro acordo internacional a favor do meio ambiente é o Protocolo de Montreal, que visa à proteção da camada de ozônio. Ele determina a eliminação completa dos CFCs e estipulou um prazo de até 2015 para a eliminação dos seus principais substitutos: os HCFCs. Os HFCs, como o R-404, R-407c e R-427^a, são fluidos alternativos já existentes no mercado. Estes não agredem a camada de ozônio, porém influenciam no aumento da temperatura global, além de serem mais caros. Há ainda os fluidos naturais como a amônia, os hidrocarbonetos, o dióxido de carbono, a água e o ar, que são mais adequados às demandas ambientais, mas exigem tecnologia mais onerosa para serem processados.

2. Revisão Bibliográfica

A revisão bibliográfica está baseada na pesquisa de metodologias para a análise de consumo em supermercados e definição de índices de consumo de energia.

“Índices de consumo de energia” são valores que representam o consumo de energia por metro quadrado de área construída e por um período de tempo determinado (por exemplo, hora, mês ou ano) para um determinado tipo de estabelecimento. Estes índices também qualificam o edifício quanto a sua eficiência energética se comparados com valores de referência, geralmente obtidos a partir de edifícios de referência (“*baselines*”), que são instalações desenvolvidas segundo diretrizes de normas e/ou procedimentos de eficiência energética. Como o Brasil ainda não possui uma norma própria, optou-se adotar a norma ASHRAE 90.1-2004.

A CELESC Distribuição S.A. (Centrais Elétricas de Santa Catarina) desenvolveu o manual “Eficiência Energética e Gestão da Energia na Indústria” com objetivo de disponibilizar informações técnicas e requisitos necessários à execução de projetos de eficiência energética, focando os sistemas de ar condicionado, iluminação, motores e ar comprimido. O manual também aborda ações que reduzem os gastos de energia, como a correção de reativos, a instalação de controlador de demanda para melhoria do fator de carga¹ e a implantação de uma Comissão Interna de Conservação de Energia_ CICE. Segundo ele, os principais indicadores quantitativos dos projetos de eficiência energética são a energia economizada (kWh/ano) e a redução de demanda de potência (kW). O potencial de economia de energia pode ser identificado efetuando-se o diagnóstico das instalações e dos equipamentos elétricos com o levantamento completo de seus dados, como consumo e desempenho.

Em alguns casos, apenas a alteração na forma de operação dos equipamentos elétricos e sua adequada manutenção podem trazer reduções significativas no consumo do estabelecimento. Em outros, há a necessidade de substituição destes por outros que apresentem melhor eficiência energética. (PANESI, 2008)

Ducoulombier; Teyssedou e Srin (2005) desenvolveram um modelo matemático para análise do consumo de energia de supermercados baseado nas equações de transferência de calor, coeficientes globais de troca de calor e coeficientes de desempenho dos equipamentos refrigerantes.

Chung; Hui e Lam (2004) desenvolveram um método de regressão linear para desenvolver uma tabela de níveis de referência de consumo intensivo de energia (CIE) para um subgrupo de supermercados de Hong Kong que possuem um sistema central de ar condicionado e área construída superior a 75 m². Esse método baseia-se na coleta de dados, ajuste climático do CIE (MJ/m²/ano) pela normalização do grau-dia², construção do modelo de regressão linear para descobrir a relação entre o CIE e os fatores significantes da edificação (idade, ocupação, sistemas elétricos), e normalização dos CIEs para os fatores significantes com o objetivo de formar a tabela de níveis de referência. Os valores de CIE (MJ/m²/ano) mínimo, máximo, médio e o desvio padrão foram, respectivamente, 1802, 12442, 5852,6 e 2591,2.

A UK Energy Benchmarks apud Chung; Hui e Lam (2004) utilizou este método, aplicando-o em 207 supermercados, e obtiveram um CIE médio de 3960 MJ/m²/ano. A Energy Star apud Chung; Hui e Lam (2004) adotou um método desenvolvido por Sharp (1996) apud Chung; Hui e Lam (2004), semelhante ao apresentado anteriormente, e obteve o resultado de 3526 MJ/m²/ano, aplicados a 88 supermercados. Chung; Hui e Lam (2004) associam a diferença desses valores com os que determinaram às diferentes condições de operação dos supermercados.

A AMEC (associação francesa de gerenciamento de energia em supermercados) desenvolveu o aplicativo *Clim Top* focado na simulação do consumo de energia pelo sistema de condicionamento de ar em supermercados. É necessário fornecer informações sobre o sistema a este software. Os resultados são fornecidos em planilha eletrônica e possibilitam a comparação dos valores de consumo da simulação com casos reais e com os de outras simulações. Entre os diversos resultados fornecidos por este aplicativo, pode-se obter a evolução da temperatura interna durante um dia, horas de uso do sistema por mês e balanço do consumo de energia anual.

Carlo (2008) fez um levantamento de dados das características de 1103 edificações não-residenciais, como escritórios, hotéis e lojas, localizadas em Belo Horizonte, Florianópolis, Recife, Salvador e São Paulo, e desenvolveu modelos representativos para cada uma, simulando-os no aplicativo Energy Plus, com o objetivo de avaliar o desempenho energético dos envoltórios destas edificações. A partir dos resultados das simulações, a autora desenvolveu duas correlações que fornecem o indicador de consumo em função de características da envoltória.

Silva e Neto (2010) basearam-se na metodologia de desenvolvimento de um edifício, segundo as especificações da norma ASHRAE 90.1-2004, e posterior simulação deste no aplicativo Energy Plus, para determinar índices de

¹ Fator de carga: razão entre a demanda por energia média e a demanda máxima da unidade consumidora, ocorridas em um mesmo intervalo de tempo especificado.

² Grau-dia: valor obtido da diferença entre a temperatura média diária e a temperatura base definida.

consumo de energia para estabelecimentos comerciais localizados em quatro cidades brasileiras: Belém, Brasília, Rio de Janeiro e São Paulo.

3. Metodologia

Neste trabalho adotou-se o método utilizado por Silva e Neto (2010). Desenvolveu-se um modelo de supermercado segundo as especificações da ASHRAE 90.1-2004 e simulou-o no Energy Plus versão 4.0. Este aplicativo permite a implantação e simulação de diversos tipos de edifícios, dos simples até os mais complexos, baseando-se em equações de transferência de calor. Informando as características e os parâmetros de operação da edificação, ele fornece dados de consumo de energia, temperaturas, custos, entre outros. Pode-se variar alguns parâmetros considerados relevantes sobre o consumo de energia da edificação para se verificar o quão sensível é o consumo do estabelecimento a eles.

O modelo desenvolvido baseia-se em um arquivo fornecido pelo Energy Plus versão 4.0, no qual estão definidos dimensões e equipamentos básicos de um supermercado típico. Algumas alterações foram feitas para enquadrá-lo como edificação de referência segundo os critérios definidos no apêndice G da Norma ASHRAE 90.1-2004, a saber: zona climática, características do clima (temperatura, umidade, velocidade do vento), materiais das camadas das paredes, piso, teto e vidro, tamanho da área envidraçada (40% da área da parede), carga interna (iluminação, equipamentos e usuários), sistema de climatização (potência e COP) e sistema de aquecimento de água.

Posteriormente, realizou-se uma análise de sensibilidade do consumo de energia da edificação, com a variação de alguns destes parâmetros para uma mesma envoltória em uma determinada região (São Paulo). O supermercado desenvolvido foi simulado para cinco cidades brasileiras (Belém, Brasília, Porto Alegre, Rio de Janeiro e São Paulo), com a finalidade de avaliar a influência climática no desempenho energético da edificação e determinar índices de consumo de energia para este tipo de estabelecimento.

4. Características da Envoltória

Segundo a norma ASHRAE 90.1-2004, o Brasil está dividido em duas zonas climáticas, denominadas 1 e 2. Belém e Rio de Janeiro encontram-se na zona 1; Brasília, Porto Alegre e São Paulo na 2. A determinação da zona é fundamental para a caracterização da envoltória segundo esta norma.

A envoltória é composta por seis zonas térmicas: escritório, estoque, *delicatessen* (deli), setor de vendas, manipulação de produtos e padaria, e possui uma área construída de 4180,79 m². Há apenas uma janela localizada na fachada principal do setor de vendas. A Figura (1) apresenta o modelo tridimensional da edificação do supermercado.

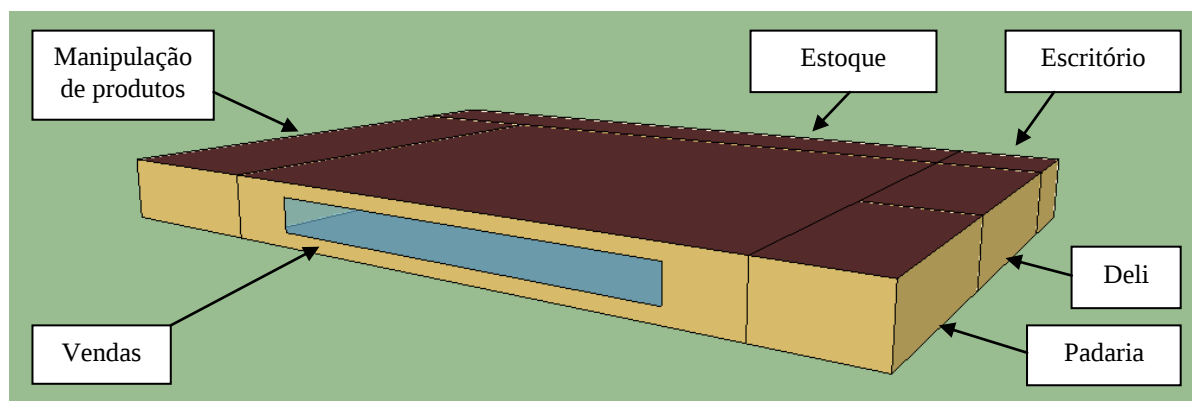


Figura 1 – Modelo tridimensional da envoltória do supermercado.

A ASHRAE 90.1-2004 estabelece materiais adequados para cada parte do envoltório (parede, piso, teto, portas, janelas e outros), além de sua respectiva transmitância térmica (U^3) e, no caso de vidros, o coeficiente de ganho de calor solar SHGC⁴, que para este caso é 0,25. A Tabela (1) apresenta os valores de U adotados neste trabalho.

Tabela 1. Características dos materiais utilizados na construção da envoltória.

Componente	Material	$U_{\text{máx}}$ (W/m ² K)
Paredes	Estrutura de aço	0,705
Piso	Estrutura de aço	1,986
Teto	Isolado totalmente por cima	0,36

³ Fator U : representa a transmissão de calor por unidade de tempo através de uma unidade de área de um material, induzida pela diferença de temperatura entre os lados deste. É expresso, segundo o Sistema Internacional de Unidades em W/m²·K.

⁴ SHGC: razão entre o ganho de calor solar que entra no espaço através de uma superfície e a radiação solar incidente.

A potência de iluminação para cada zona foi determinada pelo “Método espaço por espaço” da norma ASHRAE 90.1-2004 que define uma densidade de potência de iluminação para cada tipo de ambiente, de acordo com sua funcionalidade. O número de pessoas em cada zona seguiu o do modelo de supermercado fornecido pelo Energy Plus, por ser semelhante ao número encontrado em muitos supermercados brasileiros. Todas as zonas térmicas possuem equipamentos elétricos. Há dois equipamentos cuja fonte de energia utilizada é a queima de gás metano (gás natural): um na “deli” e outro na padaria.

Em função do tipo de edificação e de ocupação, a norma ASHRAE 90.1-2004 sugere um tipo de sistema de condicionamento de ar específico. No caso analisado, a norma sugere o sistema constituído de uma bomba de calor do tipo rooftop. Este sistema é caracterizado por operar com volume de ar constante, aquecimento a gás e resfriamento elétrico, do tipo expansão direta, no qual o fluido refrigerante contido em uma serpentina, ao se evaporar resfria diretamente o ar do ambiente climatizado. Além disso, a norma ASHRAE 90.1-2004 sugere que não sejam utilizados economizadores. As temperaturas de projeto em que o ar é direcionado para uma zona durante seu resfriamento e aquecimento são, respectivamente, 14°C e 40°C. A umidade absoluta do ar foi definida em torno de 0,008 (kg de água/kg de ar). Para os demais parâmetros do sistema foram adotados valores típicos de projeto. O sistema permanece ligado durante todo o período de operação do supermercado, ou seja, das 6 às 22 horas. Os coeficientes de desempenho (COP) adotados foram obtidos da norma ASHRAE 90.1-2004, que estabelece um valor mínimo de COP, de acordo com a potência instalada na zona e o tipo de sistema utilizado.

O sistema de refrigeração é composto por onze balcões e câmaras frigoríficas localizados no setor de vendas, deli, produção e padaria. A potência de cada um destes balcões varia de acordo com a curva de operação fornecida pelo fabricante. A temperatura do ambiente é 22,88 °C e a umidade relativa 55 %. Os compressores deste sistema apresentam coeficiente de desempenho igual 3,2.

A água para abastecimento do supermercado é aquecida por um equipamento a gás, cujo combustível é o metano (gás natural). A máxima potência fornecida pelo sistema é de 845 kW. A água é aquecida até uma temperatura máxima de 82°C e armazenada em um tanque de 0,4 m³ sendo fornecida a 60°C para os sistemas de degelo e aquecimento do ar. O sistema de distribuição possui apenas uma bomba, a qual é responsável pelo abastecimento de todo o estabelecimento, principalmente, a padaria e a “deli”. Para a simulação considerou-se que a tubulação é adiabática, ou seja, não troca calor com o meio externo. Como para o sistema de condicionamento de ar, para os demais parâmetros foram adotados valores típicos de projeto.

A Tabela (2) apresenta as principais características das seis zonas do supermercado.

Tabela 2. Características das zonas térmicas do supermercado.

	Escritório	Estoque	Deli	Vendas	Manipulação	Padaria
Área (m²)	88,84	621,89	224,72	2324,94	711,36	209,04
Densidade de iluminação (W/m²)	12	9	18	18	18	13
Número de pessoas	5	23	20	200	62	18
Potência dos equip. elétricos (W)	716,95	5018,65	12089,86	12508,17	3827,14	5623,20
Potência dos equip. a gás (W)	–	–	6044,93	–	–	11246,40
COP do sist. de climatização	3,52	3,52	3,02	3,52	3,52	3,02
Eficiência do combustível	0,80	0,78	0,78	0,78	0,78	0,80
Potência do sist. de refrigeração ⁵ (W/m)	–	–	1775,22	5316,18	1234,60	440,62

5. Resultados

5.1 Simulação da edificação de referência localizada em São Paulo

Os principais resultados da simulação anual do edifício, localizado em São Paulo, estão apresentados na Tabela (3), a qual fornece o consumo por sistema e equipamentos.

Segundo esta tabela (Tab. 3), o estabelecimento consome, em média, 1706,1MWh/ano, o que equivale a 408,1 kWh/ano/m². Este valor pode ser considerado como uma primeira estimativa de um índice de consumo de energia de referência para supermercados semelhantes, localizados em São Paulo.

⁵ Este sistema engloba a capacidade de refrigeração, ventiladores, iluminação e aquecimento dos balcões e câmaras frigoríficas.

Tabela 3. Distribuição do consumo de energia do supermercado localizado em São Paulo.

	Eletricidade (MWh/ano)	Gás (MWh/ano)	Total (MWh/ano)
Climatização	676,6	0,0	676,6
Iluminação interior	252,6	0,0	252,6
Iluminação exterior	17,6	0,0	17,6
Equipamentos elétricos	188,4	0,0	188,4
Equipamentos a gás	0,0	151,5	151,5
Exaustores	2,5	0,0	2,5
Refrigeração	416,8	0,0	416,8
Sistema de água	0,1	0,0	0,1
Total (MWh/ano)	1554,6	151,5	1706,1

Para facilitar a visualização do consumo por sistema e equipamentos opinou-se por utilizar uma matriz de consumo de energia. Trata-se de uma representação gráfica em forma de “pizza”, na qual cada fatia corresponde à contribuição de determinado sistema ao consumo total de energia da edificação. A Figura (2) deixa evidente que o sistema de climatização é o principal responsável pelo consumo (39,7%). Em segundo lugar, está o sistema de refrigeração (24,4%).

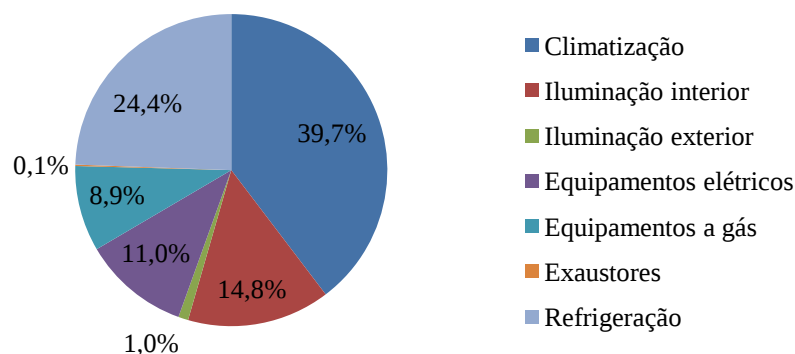


Figura 2. Matriz de consumo de energia do supermercado localizado em São Paulo.

A Figura (3) fornece dados de consumo mensal de energia elétrica e de gás natural do supermercado localizado em São Paulo. Pode-se verificar que a eletricidade é a principal responsável pelo consumo total, ou seja, 91,1% (Fig. 2).

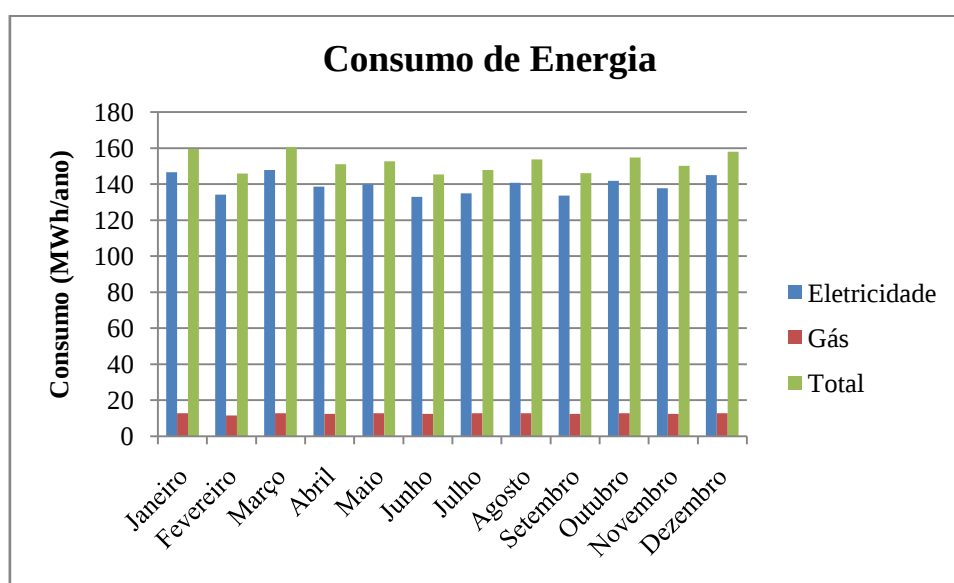


Figura 3. Consumo mensal de energia elétrica e gás natural pelo supermercado localizado em São Paulo.

A Figura (4) apresenta o consumo mensal de eletricidade deste estabelecimento, dando ênfase aos sistemas de climatização e de refrigeração, por serem os mais suscetíveis às variações climáticas.

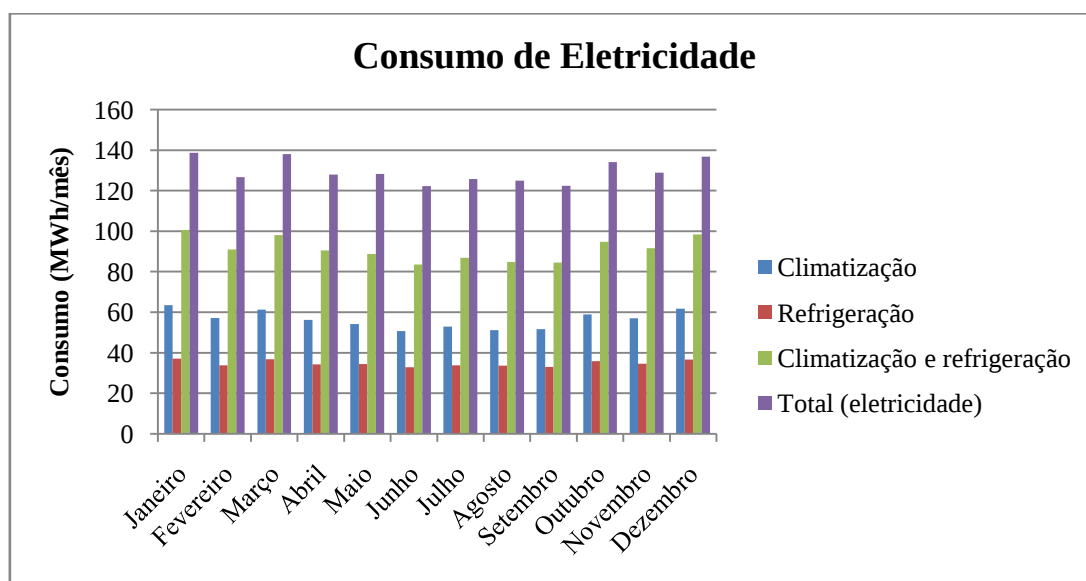


Figura 4. Consumo mensal de eletricidade do supermercado localizado em São Paulo.

5.2 Análise de sensibilidade consumo de energia do supermercado localizado em São Paulo

A partir dos dados obtidos por meio da simulação anual do supermercado de referência localizado em São Paulo, os quais podem ser verificados na Figura (2), fica evidente a importância do desempenho dos sistemas de climatização e refrigeração no consumo de energia do estabelecimento. Logo, três dos parâmetros que serão alterados, para a análise de seu impacto no consumo, são: os coeficientes de desempenho (COP) destes sistemas e a potência dos balcões e câmaras de refrigeração. Também será avaliada a influência do número de usuários em todas as zonas da edificação. Esses parâmetros serão alterados de 20 % com relação aos da edificação de referência, apresentada no item 4 deste trabalho.

A Tabela (4) apresenta um resumo dos resultados. Pode-se verificar que a potência do sistema de refrigeração é o parâmetro que mais afeta o consumo, seguido pelo COP deste sistema.

Tabela 4. Resultados da análise de sensibilidade do consumo de energia da edificação localizada em São Paulo.

	Eletricidade (kWh/m²/ano)	Gás natural (kWh/m²/ano)	Total (kWh/m²/ano)	%
Base	371,8	36,2	408,1	0,0
Maior potência de refrigeração	409,9	36,2	446,1	9,3
Menor potência de refrigeração	333,1	36,2	369,3	-9,5
Maior COP do sist. refrigeração	359,8	36,2	396,1	-2,9
Menor COP do sist. refrigeração	390,9	36,2	427,2	4,7
Maior COP do sist. climatização	369,2	36,2	405,5	-0,6
Menor COP do sist. climatização	375,4	36,2	411,7	0,9
Número maior de pessoas	372,5	36,2	408,7	0,2
Número menor de pessoas	371,2	36,2	407,4	-0,2

5.3 Comparação do consumo de energia de edificações localizadas em diferentes cidades brasileiras

A edificação de referência, apresentada no item 4, foi simulada para mais quatro cidades brasileiras: Belém, Brasília, Porto Alegre e Rio de Janeiro. As únicas alterações foram os dados climáticos, que variam de acordo com a região. A Tabela (5) apresenta o consumo de energia de cada sistema do estabelecimento, em MWh/ano, para cada região. Segundo esta tabela (Tab. 5), o supermercado localizado no Rio de Janeiro é o que apresenta maior consumo total de energia. Isto ocorre, principalmente, devido aos sistemas de climatização e refrigeração. Em segundo lugar, está o estabelecimento situado em Belém, pelos mesmos motivos do primeiro.

Tabela 5. Consumo de energia (MWh/ano) por sistema e cidade brasileira.

	Belém (MWh/ano)	Brasília (MWh/ano)	Porto Alegre (MWh/ano)	Rio de Janeiro (MWh/ano)	São Paulo (MWh/ano)
Climatização	728,1	692,1	683,5	729,0	676,6
Iluminação interior	252,6	252,6	252,6	252,6	252,6
Iluminação exterior	17,6	17,6	17,6	17,6	17,6
Equipamentos elétricos	188,4	188,4	188,4	188,4	188,4
Equipamentos a gás	151,5	151,5	151,5	151,5	151,5
Exaustores	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Refrigeração	483,6	435,0	413,6	483,7	416,8
Sistema de água	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Total	1824,4	1739,7	1709,7	1825,3	1706,1

Entre os sistemas que compõem o supermercado, os de climatização e de refrigeração são os únicos que variam, significativamente, de uma cidade para outra. Devido a este fato e para facilitar a visualização desta diferença, o consumo destes sistemas, em cada cidade, foi ilustrado na Figura (5).

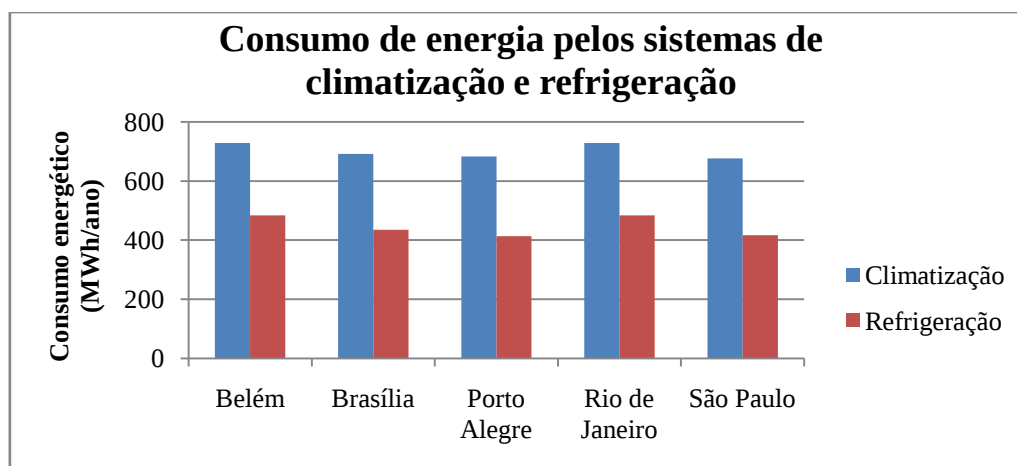


Figura 5. Consumo de energia elétrica pelo sistema de refrigeração e climatização em cinco cidades brasileiras.

A Figura (6) apresenta o consumo de energia mensal do supermercado localizado nas cinco cidades.

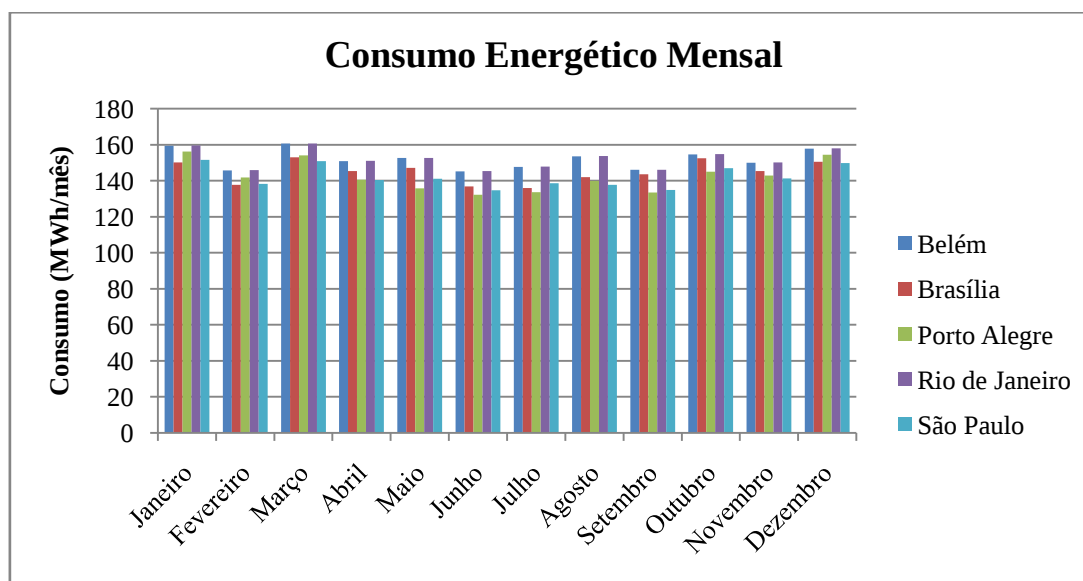


Figura 6. Consumo mensal de energia por cidade.

5.4 Índices de consumo de energia

A partir dos dados obtidos pelas simulações anuais do supermercado nas diferentes cidades brasileiras (Tab. 5), foi possível determinar índices de consumo de energia deste estabelecimento para cada região. Neste trabalho, serão apresentados dois indicadores de consumo de energia: o Índice de Consumo de Energia por Área (ICEPA) e o Índice Energético Normalizado (IEN). O ICEPA é calculado por meio da divisão do consumo de energia da edificação pela área climatizada da envoltória. O IEN é obtido dividindo-se o ICEPA pela média anual da temperatura de bulbo seco (MTBSA). Este indicador considera as condições climáticas. A Tabela (6) fornece estes índices para as cinco cidades brasileiras. Os valores em vermelho e verde referem-se, respectivamente, aos maiores e menores índices.

Tabela 6. Índices de consumo de energia de referência para supermercados localizados em cinco cidades brasileiras.

	ICEPA (kWh/ano/m ²)	IEN (kWh/ano/m ² /°C)	MTBSA (°C)
Belém	436,4	16,8	26,0
Brasília	416,1	19,7	21,2
Porto Alegre	408,9	21,3	19,2
Rio de Janeiro	436,6	18,6	23,5
São Paulo	408,1	21,0	19,4

Para avaliar se o índice é satisfatório pode-se aplicar a Equação (1). Se o valor obtido (ΔI_i) for inferior a 12%, o índice é considerado aceitável (SILVA e NETO, 2010). Esta porcentagem representa as incertezas relacionadas com o Energy Plus, cálculos e obtenção de dados.

$$\Delta I_i = \frac{(I_i - I_{\min})}{I_{\min}} \cdot 100 \quad (1)$$

Onde, o subscrito i é a cidade, ΔI_i é a variação percentual do índice de consumo de energia da cidade i com relação ao índice mínimo, I_i é o índice de consumo de energia da cidade i e $I_{\min}$ é o índice de consumo de energia mínimo.

Aplicando-se a Equação (1) aos dados da Tabela (6), tem-se que a maior diferença percentual (ΔI_i) do ICEPA, entre o maior valor (no Rio de Janeiro) e o menor valor (em São Paulo), é de 7,0%. Esta variação é considerada aceitável, segundo Silva e Neto (2010). Porém, se aplicarmos esta equação (Eq. 1) aos IENs (Tab. 6), tem-se que a variação máxima é de 27,1%, entre Porto Alegre (maior valor) e Belém (menor valor) e, de acordo com o critério adotado, não é satisfatório. Ampliando a análise para uma avaliação mensal, a maior diferença percentual (ΔI_i) do ICEPA é de 12,5% e ocorre no mês de Maio, entre Belém (maior valor) e Porto Alegre (menor valor). Já o IEN atinge valor máximo de 57,8% no mês de Junho, também entre Porto Alegre (maior valor) e Belém (menor valor). Logo, entre os dois indicadores apresentados, o ICEPA é o mais adequado para supermercados localizados no Brasil.

A Figura (7) ilustra o ICEPA por cidade, apresentado na Tabela (6), e permite verificar, com mais facilidade, a influência do clima no consumo de energia do estabelecimento. Segundo esta Figura, o supermercado consome mais energia na cidade de Rio de Janeiro, seguida por Belém.

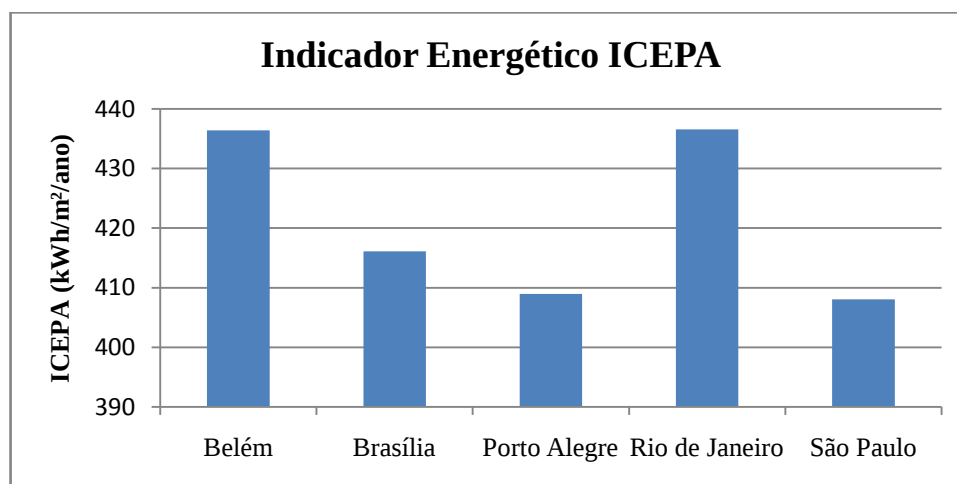


Figura 7. Consumo de energia (eletricidade e gás natural) por ano e metro quadrado de área construída (ICEPA).

6. Conclusões

O consumo de energia do supermercado de referência localizado em São Paulo é praticamente constante ao longo do ano (Figura 4), apresentando variação máxima de 13,5% entre Junho, menor consumo, e Janeiro, maior consumo.

Os sistemas de climatização e de refrigeração são responsáveis pela maior parte do consumo energia do estabelecimento, independe de sua localização (Tabela 5). Logo, estes sistemas merecem maior atenção quanto aos seus desempenhos. Em seguida estão a iluminação e os equipamentos elétricos.

A análise de sensibilidade do consumo de energia da edificação de referência, localizada na cidade de São Paulo, permitiu maior conhecimento dos sistemas que a constituem e sua influência no consumo de energia. Entre todos os parâmetros analisados, a potência dos balcões e das câmaras de refrigeração é o que mais afeta o consumo total, aproximadamente 9,4% (Tabela 4).

A simulação anual do supermercado de referência – apresentado na seção 4 deste trabalho – para diferentes cidades brasileiras forneceu a influência do clima no consumo de energia do mesmo e a definição de índices de referência de consumo de energia para estes estabelecimentos. Entre os dois índices apresentados: ICEPA e IEN, o primeiro apresentou menor variação entre as cidades, aproximadamente 7,0%, sendo, portanto, o mais adequado para supermercados brasileiros.

Esperava-se uma maior diferença de consumo de energia entre as cidades. Acredita-se que a temperatura de bulbo úmido local e as cargas fixas do supermercado (iluminação, equipamentos, exaustores e sistema de distribuição de água), que representam, aproximadamente, 36% do consumo total de energia, possam estar “mascarando” esta variação. Por isso, um estudo mais aprofundado, com relação a estes parâmetros, é aconselhável.

O desenvolvimento do modelo de um estabelecimento segundo a norma ASHRAE 90.1-2004 e sua implementação no software Energy Plus requerem muita dedicação e atenção, mas a simulação não é um processo demorado e fornece dados úteis para a análise do desempenho energético da edificação.

O método adotado para a análise do consumo de energia de supermercados e para a obtenção de índices de referência de consumo de energia para estes estabelecimentos é eficiente e pode ser utilizado para qualquer tipo de edificação.

Como não há índices energéticos de referência disponíveis para supermercados brasileiros, espera-se que este documento possa fornecer estes valores e informações suficientes de como obtê-los, auxiliando os responsáveis pelo setor a enquadrarem seus estabelecimentos aos níveis adequados de consumo de energia.

É importante esclarecer que o desempenho energético de uma edificação só pode ser comparado com o de outra se ambas apresentarem características semelhantes, como função, geometria, localização climática, equipamentos, entre outros.

7. Agradecimentos

Ao professor Alberto Hernandez Neto pela orientação, confiança e estímulo; Aos meus pais pelos ensinamentos e valores sobre a vida, transmitidos com muita paciência e amor.

8. Referências

- ASHRAE, AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings**. ASHRAE Standard 90.1- 2004. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, 2004.
- BERNSEN, J. C. **Desenvolvimento Experimental e Análise Exergética de um Sistema Trigeração para Produção Simultânea de Calor, Eletricidade e Frio**. 2007. 79 p. Dissertação (Mestrado) - Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007. Disponível em: <http://www.pipe.ufpr.br/portal/defesas/dissertacao/125.pdf> Acesso: 17/11/2009.
- CARLO, J. CORREIA. **Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação da Eficiência Energética do Envoltoário de Edificações Não-Residenciais**. 2008. 196 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008. Disponível em: <http://www.tede.ufsc.br/teses/PECV0565-T.pdf> Acesso em: 25/10/2009.
- CELESC. **Eficiência Energética e Gestão da Energia Elétrica na Indústria**. Manual Técnico. 50 p. Disponível em: <http://www.acij.com.br>. Acesso: 08/10/2009
- CHUNG, W.¹; HUI, Y. V.¹; LAM, M.² **Benchmarking the Energy Efficiency of Commercial buildings**. ¹ Department of Management Sciences, City University of Hong Kong, Kowloon, Hong Kong. ² Department of Community Health and Epidemiology, Queen's University, Kingston, Ont., Canada, 2004. Technical Article. 14 p. Available in: <http://www.sciencedirect.com> Access:19/11/2009.
- DUCOULOMBIER, M.; TEYSSEDOU, A.; SRIN, M. **A Model for Energy Analysis in Supermarkets**. Technical Article. 8 p. Canadá, 2005. Available in: <http://www.sciencedirect.com> Access: 30/10/2009.
- EnergyPlus. Energy Simulation Software. Available <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/> Access: 16/07/2009.
- Energy Star. **Technical Description for the Grocery Store/Supermarket Model**. Available from: http://208.254.22.6/ia/business/evaluate_performace/tech_desc_supermarkets.pdf

- MARCHIO, D.; OPHELIN, M. **Computer-Aided Energy Use Estimation in Supermarkets**. Technical Article. 2006. 8 p – Centre d’Energétique de l’Ecole des Mines de Paris, France, 2006. Available in: http://www.ibpsa.org/proceedings/BS1997/BS97_P088.pdf Access: 19/11/2009.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE SUPERMERCADOS, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO. **Manual de Boas Práticas em Supermercados para Sistemas de Refrigeração e Ar Condicionado**. 2009. Disponível em: <http://www.unep.fr>. Acesso: 09/10/2009.
- PANESI, A. R. Q. **Eficiência Energética em Supermercados**. 2º Encontro de Engenharia e tecnologia dos Campos Gerais, 14 e 15 de agosto de 2008. Disponível em: http://www.pg.utfpr.edu.br/ppgep/anais/artigos/eng_elet_automacao/18%20EFICIENCIA%20ENERGETICA%20EM%20SUPERMERCADOS.pdf. Acesso: 30/09/2009.
- PINTO, M. O. **Contribuição das Ciências Contábeis para o Desenvolvimento Sustentável**. 2005. 120 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: http://www.bdtndc.uff.br/tde_arquivos/14/TDE-2007-06-01T140204Z-834/Publico/Dissertacao%20Marcos%20Oliveira.pdf . Acesso: 10/10/2009.
- SHARP, T. **Energy Benchmarking in Commercial-Office Buildings**. In: ACEEE 1996 Summer Study on Efficiency in Buildings, vol. 4; 1996. P. 321-9.
- SILVA, J. E. C. S.; NETO, A. H. **Evaluation of a Energy Consumption Index for Commercial Buildings in Brazil**. Escola Politécnica – University of São Paulo. 13th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering. December 05-10, 2010, Uberlândia, MG, Brazil.
- UK Building Research Establishment. **Energy Benchmarking in the Retail Sector 1999**. Building Maintenance Information Report, Report nº SR 281. London, UK: Building Cost Information Service Ltda. 1999.

9. Direitos autorais

O autor é o único responsável pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

ASSESSMENT ENERGY INDEXES FOR SUPERMARKETS IN BRAZIL

Natashe Nicoli Branco

natashebranco@yahoo.com.br

Abstract. This paper presents benchmarks of energy consumption for supermarkets located in five cities: Brasília, Porto Alegre, Rio de Janeiro and São Paulo. The method adopted is based in the development of a reference building of a supermarket according the ASHRAE 90.1-2004. The project includes the HVAC systems, refrigeration, water distribution, and internal loads (lighting, appliances and people) and constructive characteristics of the envelope, as materials of the walls, floor, ceiling, windows and glazing. The building was simulated in the Energy Plus – application that provides data for energy consumption – five regions mentioned above. The results allow us to observe the influence of climate on energy consumption, conduct a sensitivity analysis of energy consumption of the building and establish benchmarks for energy consumption for supermarkets.

Keywords. Air conditioning, power consumption, benchmarks, refrigeration, supermarkets.