

COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFÍCIOS COMERCIAIS DE REFERÊNCIA USANDO AS CERTIFICAÇÕES LEED E PROCEL-EDIFICA

Luana Eid Piva Bertoletti

luanaepb@gmail.com

Resumo. O mercado imobiliário brasileiro, seguindo a tendência mundial de adoção de práticas sustentáveis no setor da construção civil, tem passado por transformações frente à demanda crescente por edifícios ambientalmente adequados e energeticamente eficientes. Os empreendimentos sustentáveis já são uma realidade no país e as certificações são cada vez mais procuradas pelos empreendedores.

Do ponto de vista energético, a avaliação do desempenho de edifícios que almejam uma certificação pode ser feita via cumprimento de medidas prescritivas e/ou via realização de simulação computacional. Este último método prevê a comparação do desempenho dos modelos do edifício real (proposto) e do edifício de referência, o qual representa um patamar superior de desempenho para edifícios com características similares às do edifício real (tipo de utilização, zona climática, etc.). Logo, ao escolher a metodologia para tal fim, é importante que ela seja adequada à realidade climática, energética e legislativa do país em questão.

Neste sentido, diante dos questionamentos relacionados à aplicabilidade dos diferentes sistemas de certificação no contexto brasileiro, o objetivo do trabalho é comparar, segundo dois destes sistemas, quais níveis de desempenho caracterizam do ponto de vista energético, um edifício comercial de referência, em três cidades brasileiras.

Para a realização da análise comparativa, foram escolhidos os sistemas de certificação LEED e PROCEL-Edifica, difundidos no mercado brasileiro e aplicáveis a edifícios comerciais. Os resultados das simulações mostram que, em termos de consumo energético, o edifício de referência do PROCEL-Edifica é mais exigente que o do LEED, situação verificada para as três cidades.

Palavras chave: Desempenho energético, simulação, edifícios comerciais, certificação.

1. Introdução

A construção civil é uma das atividades econômicas que mais emprega recursos naturais, seja na fase de construção, operação ou manutenção ao longo de sua extensa vida útil.

Contudo, somente a partir da década de 80, diante da crise do petróleo de 1973, intensificou-se a preocupação com o desempenho energético e ambiental durante o processo de concepção do projeto de edifícios.

No Brasil, a preocupação com a conservação e uso racional de energia ocorreu posteriormente, visto que na época em que se deu a crise, o país já possuía um parque gerador predominantemente hidroelétrico [1]. Somente em 2002, diante da crise de abastecimento ocorrida no ano anterior, em decorrência dos poucos investimentos na ampliação do parque gerador e da escassez de chuvas, o Ministério de Minas e Energia publicou o Plano de Trabalho de Implementação da Lei de Eficiência Energética (Lei nº 10.295 de 17 de outubro de 2001). Este plano destaca a necessidade de desenvolvimento de mecanismos que promovam a eficiência energética dos edifícios construídos no país [2].

Neste contexto, o mercado imobiliário brasileiro, seguindo a tendência mundial de adoção de práticas sustentáveis no setor da construção civil, tem passado por transformações frente à demanda crescente por edifícios ambientalmente adequados e energeticamente eficientes.

No Brasil, a regulamentação de desempenho energético e ambiental em edifícios ainda é insipiente [3]. No entanto, os empreendimentos sustentáveis já são uma realidade no país e as certificações são cada vez mais procuradas pelos empreendedores, visto que os benefícios deste processo atingem, positivamente, o meio ambiente, o empreendedor e as pessoas que irão usufruir da estrutura construída. Atualmente, os selos mais solicitados são o LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), o AQUA (Alta Qualidade Ambiental) e o PROCEL-Edifica.

2. Objetivo

Atualmente, existe uma grande diversidade de metodologias utilizadas para avaliação do desempenho energético e ambiental de edifícios, assim como milhares de metros quadrados já certificados em mais de uma centena de países.

Do ponto de vista energético, a avaliação do desempenho de edifícios que almejam uma certificação pode ser feita via cumprimento de medidas prescritivas e/ou via realização de simulação computacional. Este último método prevê a comparação do desempenho dos modelos do edifício real (proposto) e do edifício de referência, o qual representa um patamar superior de desempenho para edifícios com características similares às do edifício real (tipo de utilização, zona climática, etc.).

Logo, ao escolher a metodologia para tal fim, é importante que ela seja adequada à realidade climática, energética e legislativa do país em questão.

Neste sentido, diante dos questionamentos relacionados à aplicabilidade dos diferentes sistemas de certificação no contexto brasileiro, o objetivo do trabalho é comparar, segundo dois destes sistemas, quais níveis de desempenho caracterizam do ponto de vista energético, um edifício comercial de referência.

Este estudo comparativo será realizado para três cidades brasileiras, cujo critério de escolha será apresentado nas seções que seguem.

3. Sistemas de certificação de edifícios e o contexto brasileiro

Nesta seção, é feita uma breve descrição dos sistemas de certificação escolhidos para a realização da análise comparativa: LEED e PROCEL-Edifica. A seguir, são apresentados seus aspectos gerais e a contextualização dos mesmos no mercado imobiliário brasileiro. A justificativa da escolha destes sistemas é apresentada na seção 4.

3.1. LEED

O sistema de certificação LEED, de origem norte-americana e de caráter voluntário, foi desenvolvido pela organização não-governamental *U.S.Green Building Council* (USGBC). Atualmente, é a metodologia de maior reconhecimento no mercado imobiliário internacional para padrões de sustentabilidade em edifícios, sejam eles novos ou existentes, de caráter comercial, institucional ou residencial.

A última versão do sistema de classificação para Novas Construções ou Grandes Renovações [4], inicialmente desenvolvida para a avaliação de edifícios comerciais, é composta pelas seguintes categorias: “Sítios sustentáveis”, “Eficiência da água”, “Energia e atmosfera”, “Materiais e recursos”, “Qualidade do ar interno”, “Inovação em projeto” e “Prioridade Regional”.

Cada uma das categorias é composta por créditos e para que os pontos sejam atribuídos aos mesmos, com base em uma lista de objetivos pré-definida, os pré-requisitos específicos à categoria devem ser cumpridos. Assim, o método de avaliação possui uma estrutura simples do tipo *checklist*.

De acordo com a pontuação total obtida, o edifício pode ser certificado segundo quatro níveis: Certificado, Prata, Ouro, Platina. O sistema é baseado em 100 pontos, porém os créditos de “Inovação de Projeto” ou de “Prioridade Regional” tornam possível a obtenção de até 10 pontos de bonificação.

No Brasil, o *Green Building Council* Brasil (GBC-Brasil) vem disseminando no mercado o sistema de certificação LEED, o qual tem sido amplamente utilizado para avaliar e certificar edifícios em grandes cidades brasileiras: de acordo com dados do GBC, o Brasil é o 4º país no ranking mundial de construções sustentáveis certificadas pelo LEED, com 37 empreendimentos, atrás apenas dos Estados Unidos, Emirados Árabes e China [5].

O GBC-Brasil trabalha na interpretação e adaptação desta metodologia ao mercado nacional, embora essa adaptação ainda não tenha sido concluída.

3.1.1. Avaliação do desempenho energético

No Referencial LEED [4], os aspectos energéticos são abordados na categoria “Energia e atmosfera”.

Nesta categoria, é definido o desempenho energético mínimo que o edifício proposto deve apresentar para cumprir com o pré-requisito 2 da categoria.

Para a comprovação do desempenho, o Referencial propõe duas opções: via cumprimento de medidas prescritas de guias de projeto da ASHRAE ou via simulação energética computacional. Ao utilizar este último método, o atendimento ao pré-requisito prevê a redução do consumo do edifício proposto em 10%, em termos de custo, com relação ao consumo do edifício de referência. As características deste último são definidas e apresentadas no Apêndice G da norma ASHRAE 90.1-2007 [6].

3.2. PROCEL-Edifica

A Etiqueta de Eficiência Energética em Edificações, PROCEL Edifica, criada em 2003 pela parceria entre a Eletrobrás e o INMETRO, é um sistema de avaliação de desempenho energético de edifícios que faz parte do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE). Sua metodologia foi desenvolvida pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) e contou com a participação de diversas instituições, como o Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia (CONFEA) e o Instituto dos Arquitetos do Brasil (IAB).

A avaliação do desempenho energético de edifícios comerciais, de serviços e públicos é feita utilizando-se o Regulamento Técnico de Qualidade (RTQ) [7], que até a presente data é de caráter voluntário.

Para que um edifício seja elegível à etiquetagem, todos os pré-requisitos gerais presentes no RTQ [7], referentes ao edifício como um todo, devem ser cumpridos, obrigatoriamente. Uma vez elegível, determina-se o nível de desempenho do edifício, que varia de “A” (mais eficiente) a “E” (menos eficiente), após a avaliação do desempenho de três sistemas que o compõem: envoltória, iluminação e condicionamento de ar.

Após a obtenção da classificação do edifício, é concedida a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), a qual pode ser concedida em três fases: para o projeto do edifício, para o edifício pronto (após a obtenção do alvará de conclusão de obra) e para o edifício existente, após reforma.

Também existe a possibilidade de se obter apenas a classificação de um (uns) sistema(s), no caso em que seja almejada a etiqueta parcial do edifício.

O PROCEL-Edifica, sistema de avaliação que já emitiu etiquetas para cerca de 30 edifícios [5], diferentemente da certificação LEED, que aborda diversos aspectos ambientais e de conforto dos ocupantes do edifício, avalia apenas o desempenho energético do mesmo.

3.2.1. Avaliação do desempenho energético

A classificação do nível de desempenho energético do edifício pode ser obtida via método prescritivo ou via simulação computacional. Ao utilizar este último método, o edifício proposto é certificado ao apresentar consumo energético inferior ao apresentado pelo edifício de referência correspondente à etiqueta pretendida.

Cabe ressaltar que, ao realizar a simulação para a comprovação do desempenho, o método prescritivo não é dispensado, visto que é necessário para se determinar certos parâmetros utilizados por esta ferramenta.

4. Metodologia

4.1. Escolha dos sistemas de certificação

A escolha dos sistemas de certificação foi baseada na análise da abordagem do desempenho energético segundo três sistemas estudados: LEED, AQUA e PROCEL-Edifica. O critério crucial de decisão foi o fato da metodologia AQUA não definir claramente quais parâmetros devem ser adotados com relação aos sistemas energéticos do edifício (iluminação, condicionamento de ar) para a definição de seu edifício comercial de referência.

De acordo com profissionais da área de certificação de empreendimentos, nos primeiros processos de certificação AQUA, foram adotados parâmetros que constam no PROCEL-Edifica a fim de caracterizar o edifício de referência. Diante disso, optou-se então, por comparar, via simulação computacional, o desempenho dos edifícios comerciais de referência do LEED e do PROCEL-Edifica.

4.2. Escolha das cidades

A primeira etapa para a escolha das cidades foi a consulta ao apêndice normativo B da ASHRAE 90.1-2007 [6], a fim de extrair a classificação das cidades brasileiras segundo as zonas bioclimáticas (ZB) apresentadas por esta norma. Posteriormente, recorreu-se à NBR 15220 – 3 [8] para verificar qual a classificação das mesmas cidades segundo a norma brasileira de zoneamento bioclimático. Desta análise, conclui-se que qualquer cidade classificada segundo a ASHRAE como ZB1 corresponde à ZB 8 da NBR 15220-3 [8]. Já as cidades classificadas como ZB2, segundo a ASHRAE, correspondem à ZB3 ou ZB4 da norma brasileira.

Assim, a fim de representar a ZB1 da ASHRAE e a ZB8 da NBR, foi escolhida, arbitrariamente, a cidade de Belém. Já para a ZB2 da ASHRAE foram escolhidas Brasília e São Paulo, visto que apresentam classificações distintas segundo a norma brasileira (ZB 4 e ZB3 respectivamente).

4.3. Características do edifício comercial tipo

Visto que alguns aspectos que definem os edifícios de referência estão relacionados aos edifícios reais (edifícios propostos), serão estabelecidas algumas características em comum a ambos os edifícios de referência, as quais corresponderiam a um edifício comercial típico.

4.3.1. Geometria

A geometria dos edifícios de referência foi baseada em um modelo de edifício comercial simples, constituído de 20 pavimentos de forma retangular, cuja fachada de maior dimensão está voltada para o Norte geográfico. Cada pavimento, cujas dimensões adotadas são de 1200,00 m² de área de piso (30,00 m x 40,00 m) e 3,00 m de pé direito livre, é dividido em duas zonas térmicas, a saber: área de escritório do tipo planta livre, climatizada, e área central de circulação (7,0 m x 7,0 m), não-climatizada.

4.3.2. Ganhos internos

4.3.2.1. Densidade de ocupação e de cargas internas

A densidade de ocupação foi definida a partir da ASHRAE Fundamentals 2009 [9]. De acordo com a norma, para uma estação de trabalho individual dotada de computador, monitor, impressora e fax, a densidade de ocupação correspondente é de 11,6 m²/pessoa. A norma define ainda a taxa metabólica dos ocupantes, que no caso de atividade moderada de escritório é definida em 130 W/pessoa.

Já a densidade de carga de equipamentos elétricos da área de escritório, correspondente à densidade de ocupação acima especificada é de 10,8 W/m².

A densidade de ocupação e de cargas internas e a taxa metabólica correspondente à área de circulação não foram estabelecidas, pois esta foi considerada como uma área de ocupação não-permanente (corredor).

4.3.2.2. Perfis de ocupação e de operação de sistemas e equipamentos

Os perfis de ocupação e de operação dos sistemas e equipamentos da área de escritório foram retirados do manual da ASHRAE 90.1-2007 [10]. Para a área de circulação, foi considerado que o sistema de iluminação funciona segundo o mesmo perfil do sistema correspondente da área de escritório.

4.3.3. Renovação de ar

A fim de garantir a qualidade do ar interior e a manutenção de níveis aceitáveis de poluentes nos ambientes condicionados, foi estabelecida, com base na norma NBR 16401-3 [11], a taxa mínima de renovação de ar exterior. Para as áreas de escritório, foi considerado nível intermediário de vazão de ar externo para ventilação (nível 2), cujas parcelas que compõem a vazão efetiva são estabelecidas em 3,1 l/s.pessoa e 0,4 l/s.m².

4.4. Características específicas dos edifícios de referência

A seguir, serão apresentadas as características específicas que definem os edifícios de referência segundo os dois sistemas de avaliação. A caracterização destes modelos remete ao Apêndice G da norma ASHRAE 90.1-2007 [6], no caso do LEED, e ao RTQ [7], no caso do PROCEL-Edifica.

Cabe destacar que o edifício de referência adotado a fim de representar o PROCEL-Edifica apresenta características correspondentes ao melhor nível de desempenho definido pelo RTQ [7], o qual corresponde à etiqueta “A”.

4.4.1. Orientação

No caso do LEED, o Apêndice G [6] especifica que o desempenho do edifício de referência seja obtido através da simulação à orientação do edifício proposto e posteriormente a 90°, 180° e 270° desta. Então é feita a média dos resultados. Já para o PROCEL-Edifica, o RTQ [7] estabelece que a orientação do edifício de referência seja a mesma do edifício proposto. No caso do presente estudo, o desempenho dos edifícios de referência será avaliado apenas à orientação do edifício tipo, estabelecida na seção 4.3.1.

4.4.2. Envoltória

4.4.2.1. Materiais

As propriedades das superfícies opacas e translúcidas especificadas para os edifícios de referência são apresentadas na Tabela 1. No caso dos edifícios do PROCEL-Edifica, algumas hipóteses foram adotadas em caso de falta de especificações: para o coeficiente de transmitância térmica do piso foi adotado o mesmo coeficiente especificado pelo Apêndice G [6] e para a janela, foi definido o coeficiente com base nas propriedades térmicas de um vidro de 3 mm de espessura e de seu caixilho.

Tabela 1: Propriedades das superfícies opacas e translúcidas dos edifícios de referência

	Belém		Brasília		São Paulo	
	PROCEL-Edifica	LEED	PROCEL-Edifica	LEED	PROCEL-Edifica	LEED
U_{parext} [W/m ² . K]	2,50	0,71	3,70	0,71	3,70	0,71
U_{cob} [W/m ² . K]	1,00	0,36	1,00	0,27	1,00	0,27
U_{piso} [W/m ² . K]	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
U_{janela} [W/m ² . K]	6,91	6,81	6,91	4,26	6,91	4,26
SHGC	0,87	0,25	0,87	0,25	0,87	0,25
Absortância parede	0,50	0,70	0,50	0,70	0,50	0,70
Absortância cobertura	0,50	0,70	0,50	0,70	0,50	0,70

4.4.2.2. Percentual de abertura na fachada

O percentual de abertura na fachada (PAF) estabelecido para os edifícios de referência são apresentados na Tabela 2.

No caso do LEED, os edifícios foram modelados com 40% de abertura na fachada, correspondente ao máximo valor que este parâmetro pode apresentar em um edifício de referência. Já no caso do PROCEL-Edifica, o PAF dos edifícios foi calculado utilizando-se fórmulas de cálculo do índice de consumo (IC) específicas à zona bioclimática e à área de projeção do edifício. Este método de cálculo encontra-se detalhado no RTQ [7].

Tabela 2: Percentual de abertura na fachada dos edifícios de referência

	Belém		Brasília		São Paulo	
	PROCEL-Edifica	LEED	PROCEL-Edifica	LEED	PROCEL-Edifica	LEED
PAF	18,1%	40,0%	14,7%	40,0%	18,1%	40,0%

4.4.3. Sistema de iluminação

As densidades de potência de iluminação (DPI) foram estabelecidas de acordo com o método das atividades do edifício, visto que, para os edifícios em questão, foram definidas duas zonas relacionadas a atividades distintas. Embora o método seja comum às duas certificações, os valores limites de DPI diferem entre si, conforme mostra a Tabela 3.

Tabela 3: Densidade de potência de iluminação (DPI) dos sistemas de referência

Atividade	DPI [W/m ²] - LEED	DPI [W/m ²] - PROCEL-Edifica
Escritório (planta livre)	12,0	10,5
Circulação	5,0	7,1

4.4.4. Sistema AVAC

LEED: O Apêndice G [6] estabelece que o sistema de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC) de referência seja determinado de acordo com o tipo de uso do edifício, número de pavimentos, área condicionada e fonte energética do sistema.

No caso do edifício comercial tipo, definido na seção 4.3, de uso não-residencial e de mais de 5 pavimentos, o sistema de referência é central do tipo volume de ar variável (VAV) dotado de *fancoils* e reaquecimento terminal. O efeito de resfriamento do ar é proporcionado por água gelada e o de aquecimento por resistência elétrica.

Para a produção de água gelada são previstos chillers elétricos de condensação à água. O número de equipamentos e o tipo de compressor foram definidos de acordo com a carga de pico do edifício, obtida por meio das simulações de dimensionamento. Definidas as características dos equipamentos, adotaram-se os níveis de eficiência estabelecidos na seção 6 da norma ASHRAE 90.1-2007 [6], com os quais os chillers foram modelados.

As demais características específicas do sistema de referência, adotadas no presente estudo, encontram-se detalhadas no Apêndice G da norma ASHRAE 90.1-2007 [6].

PROCEL-Edifica: Segundo o RTQ [7], no caso em que se pretende obter a etiqueta total do edifício, o sistema de AVAC de referência adotado para a realização da simulação deve ser o mesmo que o do edifício proposto, com valores de eficiência de seus equipamentos estabelecidos de acordo com o método prescritivo.

Visto que, no presente estudo, a definição do edifício de referência não está baseada em um edifício existente, foi adotada a hipótese de que o sistema de referência corresponde ao sistema adotado no caso em que se pretende obter as etiquetas parciais, de envoltória e de iluminação, por exemplo. Nesta condição, o sistema de AVAC deve ser simulado conforme o tipo, características e níveis de eficiência especificados no RTQ [7].

No caso do edifício comercial tipo, que apresenta área condicionada superior a 4.000 m², o sistema modelado seria do tipo água gelada com caixas VAV e condensação a água, assim como para o sistema de referência definido pelo Apêndice G da norma 90.1-2007 [6]. Da análise das demais características especificadas, conclui-se que as mesmas foram definidas com base na norma acima citada, até mesmo numericamente.

Do exposto, será adotado que o sistema de referência do PROCEL-Edifica é o mesmo que o estabelecido pelo Apêndice G [6], diferenciando-se do mesmo apenas pelas especificações quanto aos níveis de eficiência de alguns dos equipamentos.

4.4.5. Simulação

O software utilizado para a realização das simulações foi o *IES Virtual Environment* (IES-VE), utilizado por projetistas e consultores que atuam na área da construção civil, em sua maioria envolvida no projeto, avaliação e certificação de edifícios verdes.

A simulação dos edifícios de referência foi feita considerando-se o período de um ano (8760 horas) e utilizando dados climáticos extraídos dos arquivos elaborados pelo International Weather for Energy Calculation (IWEC).

Para as três cidades estudadas, o *setpoint* do sistema de condicionamento de ar foi definido em 24°C e umidade relativa de 60%. A fim de garantir esta condição, o ar, em vazão adequada, é insuflado a 12,8°C e 90% de umidade relativa.

Vale ressaltar que no presente estudo, o sistema de condicionamento de ar foi considerado operante apenas para cargas de resfriamento.

5. Resultados e Análises

5.1. Simulações de dimensionamento

Após a realização das simulações de dimensionamento, foi possível definir todas as características dos chillers, equipamentos responsáveis pela produção de água gelada do sistema de condicionamento de ar. Então, os níveis mínimos de eficiência com os quais os chillers foram modelados foram extraídos do Apêndice G [6] (LEED) e do RTQ [7] (PROCEL-Edifica). A Tabela 4 apresenta as características dos chillers dos edifícios de referência.

Tabela 4: Características dos chillers dos edifícios de referência

	PROCEL-Edifica				LEED			
	Carga pico [kW]	Nº chillers	Tipo	COP	Carga pico [kW]	Nº chillers	Tipo	COP
Belém	2388	2	Centrífugo	6,1	2318	2	Centrífugo	6,1
Brasília	1468	2	Parafuso	5,2	1350	2	Parafuso	4,9
São Paulo	1877	2	Parafuso	5,2	1649	2	Parafuso	4,9

5.2. Cargas térmicas

Das simulações anuais realizadas para as três cidades, obtiveram-se os resultados apresentados na Figura 1.

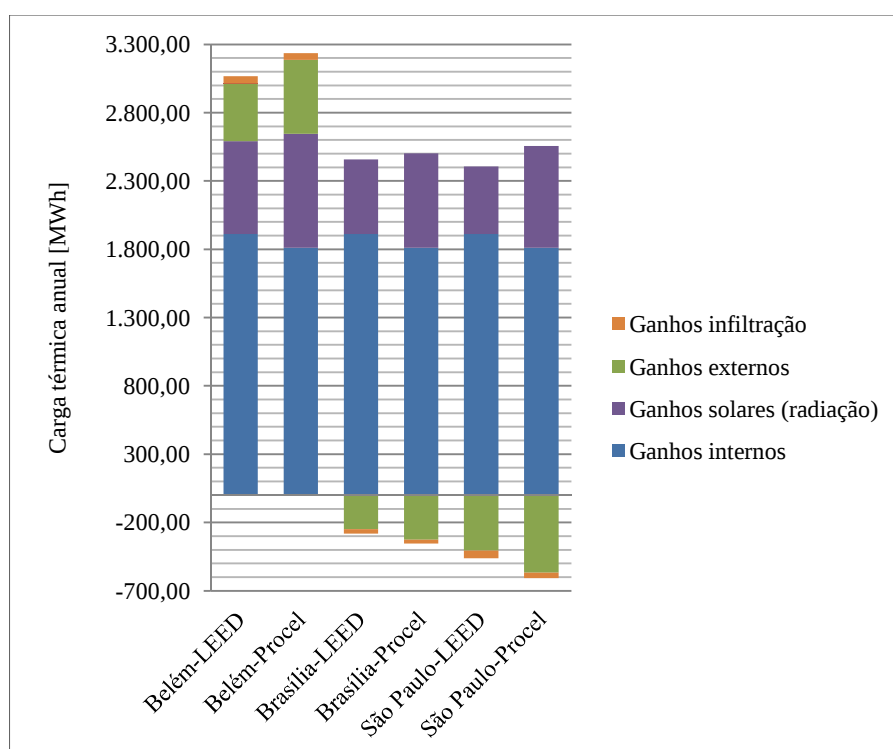


Figura 1: Carga térmica anual dos edifícios de referência

5.2.1. Ganhos internos

Da análise da Figura 1, conclui-se que, para as três cidades e para todos os edifícios, os ganhos internos (pessoas, sistema de iluminação e equipamentos) representam a maior parcela de contribuição à carga térmica dos ambientes condicionados. Além disso, nota-se que estes ganhos são maiores para os edifícios LEED. Sabendo que os edifícios de ambas as certificações foram definidos considerando-se mesma densidade de ocupação e de carga interna e mesmos perfis de ocupação e operação de sistemas e equipamentos, a diferença dos ganhos internos é explicada pela densidade de potência de iluminação (DPI) da área de escritório, definida em 12 W/m^2 para o LEED e em $10,5 \text{ W/m}^2$ para o PROCEL-Edifica.

5.2.2. Ganhos solares

No que diz respeito aos ganhos solares, devidos apenas à radiação, os edifícios PROCEL-Edifica apresentam maiores ganhos que os edifícios LEED, para as três cidades, ainda que os percentuais de abertura na fachada dos primeiros sejam menores que os dos últimos. Assim, conclui-se que a diferença dos ganhos se deve ao fator solar dos vidros, definidos em 0,87 para o PROCEL-Edifica e em 0,25 para o LEED.

5.2.3. Ganhos externos

Com relação aos ganhos externos, nota-se que, no caso de Belém, estes ganhos apresentam valores positivos para ambos os edifícios. Isto é, como na maior parte do ano a temperatura externa é superior à temperatura de *setpoint* dos ambientes condicionados, a condução de calor se dá no sentido do ambiente externo para o ambiente interno. Desta forma, visto que o edifício PROCEL-Edifica apresenta elementos construtivos com maiores coeficientes de transmitância térmica, recebe maior carga por condução que o edifício LEED.

Já no caso das cidades de Brasília e São Paulo, os ganhos externos apresentam valores negativos, visto que em grande parte do ano a temperatura externa é inferior à temperatura de *setpoint* dos ambientes condicionados. Assim, a condução de calor se dá no sentido do ambiente interno para o ambiente externo. Desta forma, visto que o edifício PROCEL-Edifica apresenta elementos construtivos com maiores coeficientes de transmitância térmica, perde mais calor por condução que o edifício LEED.

5.2.4. Ganhos devidos à infiltração de ar

Finalmente, os ganhos devidos à infiltração de ar não apresentam grandes discrepâncias entre os edifícios PROCEL-Edifica e LEED, para as três cidades. Estes ganhos representam as parcelas menos significativas com relação à carga térmica.

5.2.5. Ganhos totais

Analisando os ganhos em sua totalidade, observam-se as seguintes situações para as três cidades:

- **Belém:** Ainda que os ganhos solares e externos do edifício PROCEL-Edifica sejam, respectivamente, 22,8% e 28,8% superiores aos mesmos ganhos do edifício LEED, os ganhos internos do último são 5,6% superiores aos do PROCEL-Edifica. Visto que, em termos absolutos os ganhos internos são mais representativos, as cargas térmicas de ambos os edifícios se aproximam, sendo a carga do edifício PROCEL-Edifica 5,8% superior à do LEED.
- **Brasília e São Paulo:** Ainda que os ganhos solares dos edifícios PROCEL-Edifica sejam 26,7% (Brasília) e 50,9% (São Paulo) superiores aos mesmos ganhos dos edifícios LEED, os ganhos internos destes são 5,6% superiores aos do PROCEL-Edifica, para ambas as cidades. Além disso, conforme discutido anteriormente, os edifícios LEED trocam menos calor com o meio externo e têm, ao longo do ano, perda por condução 23,8% (Brasília) e 28,6% (São Paulo) menores que os edifícios PROCEL-Edifica. No entanto, analogamente ao observado para Belém, em termos absolutos as cargas térmicas se aproximam. No caso de Brasília, a carga do edifício LEED é 1,0% superior à do PROCEL-Edifica e no caso de São Paulo, a carga do edifício PROCEL-Edifica é 0,6 % superior à do LEED.

5.3. Consumo energético

No gráfico da Figura 2, são apresentados os resultados obtidos para o consumo energético dos edifícios de referência.

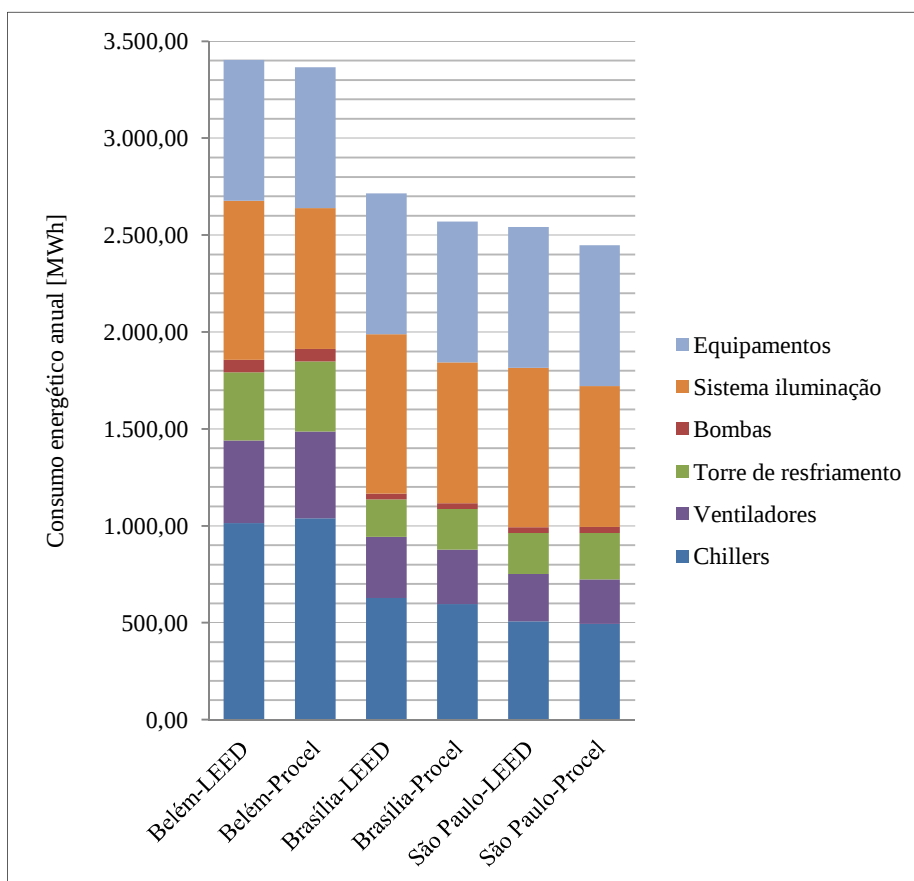


Figura 2: Consumo energético anual dos edifícios de referência

5.3.1. Sistemas de AVAC

A conclusão direta que pode se extrair da Figura 2 é que o sistema de AVAC, constituído pelos resfriadores, ventiladores, torres de resfriamento e bombas, representa o uso final que mais consome energia nos edifícios, seguido do sistema iluminação e dos equipamentos. Esta situação se verifica nas três cidades.

Ao comparar os perfis entre as cidades, nota-se que os edifícios que apresentam maior consumo energético para o sistema de AVAC, em termos absolutos, localizam-se na cidade de Belém. Este resultado já era esperado, pois ainda que os chillers de seus sistemas sejam mais eficientes que os das outras cidades, diferentemente das cidades de Brasília e de São Paulo, as condições climáticas de Belém refletem em ganhos externos positivos ao longo do ano e são estes ganhos de carga térmica que, justamente, contribuem a um consumo energético anual mais elevado.

No caso da cidade de Belém, o consumo dos chillers é 2,4% maior no caso do edifício PROCEL-Edifica. Este resultado é condizente, visto que este edifício possui carga térmica 5,8% superior ao edifício LEED e sabendo que os níveis de eficiência dos chillers de ambos os edifícios apresentam os mesmos valores. Considerando todos os equipamentos do sistema de AVAC, o consumo do PROCEL-Edifica é 3,07% superior ao do LEED.

Já para a cidade de Brasília, os chillers do edifício LEED consomem 5,3% a mais de energia que os do PROCEL-Edifica, apesar da carga térmica do primeiro ser apenas 1% superior à do último. Isto pode ser explicado devido ao fato dos níveis de eficiência dos chillers destes edifícios apresentarem valores diferentes entre si (4,90 para o LEED e 5,12 para o PROCEL-Edifica). Considerando todos os equipamentos do sistema de AVAC, o consumo do LEED é 4,5% superior ao do PROCEL-Edifica.

Finalmente, no caso da cidade de São Paulo, os chillers do edifício LEED consomem 2,6% a mais de energia que os do PROCEL-Edifica, ainda que a carga térmica do último seja ligeiramente superior à do primeiro (0,6%). Analogamente à cidade de Brasília, esta diferença se deve ao fato dos chillers destes edifícios apresentarem valores diferentes entre si (4,90 para o LEED e 5,12 para o PROCEL-Edifica). Considerando todos os equipamentos do sistema de AVAC, pode-se dizer que os edifícios apresentam níveis de consumo equivalente.

5.3.2. Sistema de iluminação

Conforme apresentado na seção 4.4.3, os valores de densidade de potência de iluminação (DPI) estabelecidos pelos sistemas de certificação diferem, tanto para as áreas de escritório, quanto para as áreas de circulação. Apesar de o LEED especificar menor DPI para a zona de circulação (5,0 W/m² contra 7,1 W/m² para o PROCEL-Edifica), o valor

especificado para a zona de escritório, cuja área é muito mais representativa, é maior (12,0 W/m² contra 10,5 W/m² para o PROCEL-Edifica). Assim, o consumo do sistema de iluminação do edifício LEED é 13,1% superior ao do PROCEL-Edifica, para as três cidades.

5.3.3. Equipamentos

De acordo com a seção 4.3.2, os edifícios de referência de ambas as certificações apresentam mesma densidade de carga interna (DCI) de equipamentos, assim como mesmo perfil de operação dos mesmos. Assim, todos os edifícios, para as três cidades, apresentam níveis de consumo equivalentes.

5.3.4. Distribuição do consumo por uso final

Conforme apresentado nas seções 5.3.1 a 5.3.3, a diferença mais relevante em termos de consumo final entre os edifícios LEED e PROCEL-Edifica diz respeito ao sistema de iluminação, calculado em 13,1% superior para os edifícios LEED das três cidades.

No entanto, ao observar a diferença percentual do consumo total dos edifícios, esta diferença se reduz consideravelmente. Isto ocorre, pois o sistema mais representativo em termos de consumo energético é o de AVAC e a diferença percentual deste consumo final entre os edifícios LEED e PROCEL-Edifica não ultrapassa 5%. Já o consumo de equipamentos é equivalente para todos os edifícios de todas as cidades.

Em termos absolutos, os edifícios LEED apresentam maior consumo energético anual. Já ao analisar a distribuição de uso final de energia, nota-se que, em termos percentuais, os perfis dos edifícios de uma mesma cidade são semelhantes. A Figura 3 ilustra o caso da cidade de Brasília, porém a mesma situação pode ser observada nas cidades de Belém e de São Paulo.

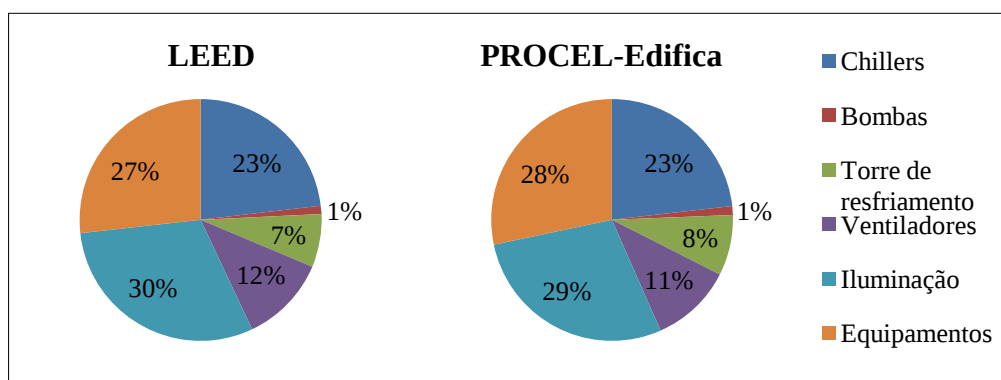


Figura 3: Distribuição do consumo energético por uso final - Brasília

5.4. Custo energético

A Tabela 5 apresenta o custo anual energético dos edifícios de referência, considerando-se a tarifação de energia elétrica estabelecida pela Resolução N° 1.025, de 29/06/10 da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). No caso do presente estudo, adotou-se a tarifa azul estabelecida para o subgrupo A4 (alta e média tensão).

Tabela 5: Custo energético anual dos edifícios de referência

	Belém		Brasília		São Paulo	
	PROCEL-Edifica	LEED	PROCEL-Edifica	LEED	PROCEL-Edifica	LEED
Tarifa azul (R\$/ano)	578.260	574.223	442.499	464.969	414.519	429.572

Da análise dos resultados, conclui-se que a diferença percentual do custo energético entre os edifícios LEED e PROCEL-Edifica apresenta mesma ordem de grandeza que a diferença percentual apresentada em termos de consumo energético. Este resultado era esperado, visto que os edifícios apresentam distribuição do consumo equivalente ao longo do ano e do dia.

6. Conclusões

A fim de comparar o desempenho energético dos edifícios comerciais de referência definidos por dois sistemas de certificação difundidos no mercado imobiliário brasileiro, recorreu-se ao método da simulação computacional, realizada

no *software* IES-VE. Para isto, a caracterização dos modelos foi feita com base nas informações disponíveis no Apêndice G da norma ASHARE 90.1-2007 [6], no caso do LEED, e no RTQ [7], no caso do PROCEL-Edifica.

Das análises realizadas na seção 5.3, conclui-se que, em termos de consumo energético, o edifício de referência do PROCEL-Edifica é mais exigente que o do LEED, situação verificada para as três cidades.

Ao analisar os resultados obtidos, constata-se que o sistema de iluminação é o grande responsável pelo maior consumo energético dos edifícios de referência do LEED, visto que o impacto da maior densidade de potência de iluminação se apresenta de duas formas: aumento do consumo direto de energia e aumento dos ganhos internos do edifício (carga térmica) e conseqüentemente, do consumo energético do sistema de AVAC.

Diante do fato de as diferenças percentuais entre o consumo energético dos edifícios definidos segundo os dois sistemas de certificação não ultrapassarem 6%, as quais podem estar dentro da faixa de incerteza do *software* de simulação, pode-se dizer que a utilização do edifício de referência do LEED é adequada para a avaliação do desempenho energético de edifícios no contexto brasileiro.

7. Referências

- [1] MENDES, N. et al. **Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil**. Ambiente Construído, Porto Alegre, n.4, p. 47-68, Out/Dez. 2005.
- [2] HAGEL, A. de p. L. A. **Análise computacional da demanda energética de climatização de edifício**. 2005. Tese (Trabalho de graduação) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília. 89 p.
- [3] SHALDERS NETO, A. **Regulamentação de desempenho térmico e energético de edificações**. 2003. 89 p. Tese (Trabalho de Pós-Graduação) – Instituto de Eletrotécnica e Energia - USP, São Paulo.
- [4] US GREEN BUILDING COUNCIL (USGBC). **LEED (Leadership and Energy & Environmental Design): Green building rating system** – version 3. 2008. 83 p.
- [5] PROCEL INFO. Disponível em < <http://www.procelinfo.com.br/main.asp> > Último acesso em 25/09/2011.
- [6] 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, 2007.184 p.
- [7] INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Requisitos técnicos da qualidade para o nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos**. Brasil, 2010. 87 p.
- [8] ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social**, Rio de Janeiro, 2005. 28 p.
- [9] ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **Handbook of Fundamentals**. Atlanta, 2009.
- [10] ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **90.1 User's Manual ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1-2007**, Atlanta, 2007. 358 p.
- [11] 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, 2008. 26 p.

8. Direitos autorais

ENERGY PERFORMANCE COMPARISON OF BASELINE COMMERCIAL BUILDINGS USING LEED AND PROCEL-EDIFICA CERTIFICATIONS

Luana Eid Piva Bertolotti

luanaepb@gmail.com

Abstract. The Brazilian real estate market, following the global trend of adopting sustainable practices in the construction industry, has been going through changes due to the growing demand for environmentally friendly and energy efficient buildings. The sustainable buildings are already a reality in the country and certifications are increasingly sought after by entrepreneurs.

From the energetic point of view, performance assessment of buildings which aim for a certification can be carried out by compliance with prescriptive measures and / or by conducting computer simulation. This latter method provides the performance comparison of the actual building (proposed) and the baseline building, which represents a higher level of performance for buildings with similar characteristics to the actual building (type of use, climate zone, etc.). Thus, when choosing the methodology for this purpose, it is important that it is suited to the climatic, energy, and legislative reality of the concerned country.

In this sense, considering the inquiries related to the applicability of different certification systems in the Brazilian context, the aim of this study is to compare, according to two of these systems, which performance levels characterize, in terms of energy, a commercial baseline building, in three Brazilian cities.

In order to perform the comparative analysis, the certification systems which were chosen are LEED and PROCEL-Edifica, widespread in the Brazilian market and applicable to commercial buildings. Simulation results show that, in terms of energy consumption, PROCEL-Edifica baseline building is more stringent than LEED's one. This situation was verified for the three cities.

Keywords: Energy performance, simulation, commercial buildings, certification.