

AValiação DO CONTROLE DE ACIONAMENTO DO SISTEMA DE CIRCULAÇÃO DE FLUIDO INTERMEDIÁRIO EM SISTEMAS CENTRAIS DE CLIMATIZAÇÃO.

Vinicius Navarro Herdy
navarro.vinicius@gmail.com

Resumo. O trabalho aqui apresentado tem como principal objetivo identificar a configuração de controle de acionamento do sistema de circulação de água gelada que apresenta o menor consumo energético de sistemas de climatização de edifícios. A avaliação é realizada considerando um edifício comercial localizado na cidade de São Paulo. O edifício é desenhado em um aplicativo de modelagem 3D, e o consumo energético anual é avaliado no aplicativo EnergyPlus variando-se 3 parâmetros: intensidade de uso (ocupação e uso de equipamentos), nível de iluminação e regime de vazão do sistema de circulação de água gelada (fluido intermediário). A modelagem é realizada segundo as diretrizes apresentadas na norma ASHRAE 90.1. O sistema de referência no mercado brasileiro de sistemas centrais de climatização utiliza bomba de rotação constante no anel primário sem acionamento no secundário. Os resultados mostraram que o sistema com bomba variável no primário, sem secundário, apresenta menor consumo energético (-1,5% em relação à referência) e as outras opções (primário constante com secundário variável e vice-versa) apresentaram consumos superiores (+0,5% e +2,0%, respectivamente) para todas as condições estudadas. O mesmo edifício simulado no Rio de Janeiro e em Salvador apresentou alta no consumo de 23% e 34%, respectivamente, em comparação com São Paulo. Nessas cidades observou-se a mesma tendência de consumo para os diferentes regimes de vazão de água gelada, e a estratégia de menor consumo é ainda mais econômica comparativamente, apresentando baixa de 1,9% em relação à referência.

Palavras chave: Climatização, simulação, controle, fluido intermediário.

1. Introdução

O uso de recursos para obtenção de energia, matérias-primas e água é fundamental para a saúde, segurança, bem-estar e conforto das pessoas, porém a obtenção desses recursos traz sempre desvantagens para o meio ambiente (como emissões de poluentes, resíduos líquidos e sólidos, etc). Nesse contexto o tema dos edifícios sustentáveis tem crescido em importância, apesar da alta complexidade envolvida. Com essa nova filosofia de edificações, se deseja um prédio capaz de aproveitar melhor os recursos da natureza durante seu funcionamento sem abrir mão do conforto dos usuários.

Dessa forma, com o auxílio de um aplicativo de simulação energética de edificações, o estudo aqui desenvolvido avalia o consumo energético anual de um edifício para diferentes controles de acionamento do sistema de água gelada. A modelagem do prédio é realizada levando em conta características como arquitetura (formas, dimensões), orientação das faces, área envidraçada, propriedades térmicas dos materiais utilizados na construção (inclusive vidros), perfis de uso (taxa de ocupação, luzes e equipamentos para cada hora do dia) e o sistema de climatização do edifício. Uma vez modelado, o prédio é simulado tendo em vista a obtenção de resultados de base em termos de consumo de energia elétrica. Em seguida a simulação é repetida, porém com alterações em dois fatores: (1) regime de circulação de água gelada no sistema de climatização e (2) intensidade de uso do edifício (i.e. quantidade de pessoas, níveis de iluminação e utilização de equipamentos).

As diferentes combinações mostram a influência de cada um dos fatores no consumo energético da edificação. A determinação da melhor estratégia de circulação de água gelada é o principal objetivo deste trabalho. A análise de custos de implantação e retorno econômico constituem objetivos secundários. O programa de simulação energética utilizado é o EnergyPlus. Trata-se de uma ferramenta gratuita, cuja estrutura modular permite a rápida implementação e simulação de modelos complexos. A inserção dos dados geométricos do edifício (modelagem das zonas térmicas) no EnergyPlus pode ser feito através do programa Google SketchUp 8, e de seu aplicativo Open Studio.

Vale ressaltar que, no mercado brasileiro de sistemas de climatização, a configuração de referência de circulação de água gelada apresenta acionamento constante no circuito primário, sem acionamento no secundário. Os resultados dessa configuração são considerados como base de comparação neste trabalho. Além disso, as demais condições de base consideradas são: taxa de calor liberado de 12 W/m² para iluminação, 16,2 W/m² para equipamentos, e uma taxa de ocupação de 9,3 m²/pessoa.

2. Norma 90.1 da ASHRAE

A norma 90.1 da ASHRAE (2007), utilizada como base para a concepção do edifício, foi criada com o propósito de fornecer os requisitos mínimos de projeto de edifícios energeticamente eficientes. Mais especificamente, nela são definidas condições mínimas a serem atendidas na construção de novos edifícios, novas partes de edifícios existentes ou na instalação de novos sistemas e equipamentos. Além disso são estabelecidos critérios para a determinação da conformidade com esses requisitos.

Nela são estabelecidos critérios para construção da envoltória do edifício, sistemas de climatização, aquecimento de água, sistemas elétricos, iluminação e equipamentos em geral. No que diz respeito à envoltória, são definidos limites de isolamento (à infiltração de ar externo) e transmitância térmica de paredes, tetos, pisos e janelas, além da área envidraçada máxima permitida (40% da superfície total da parede). Todos os limites são estabelecidos de acordo com a

zona climática onde o edifício se localiza (zona climática 2 no caso de São Paulo e zona climática 1 para Rio de Janeiro e Salvador).

3. Caracterização do edifício

O estudo se desenvolve para um prédio de escritórios localizado na cidade de São Paulo. Trata-se de um edifício de 20 (vinte) pavimentos, com estrutura metálica, cuja planta de cada andar consiste num retângulo de 30 por 40 metros e um vão interno quadrado de 7 metros de lado (para escadas e elevadores) não climatizado; o pé direito é de 3 metros e existe um plenum de 0,6 metro de altura. A Fig. (1) mostra a representação do modelo tridimensional de um andar típico do prédio modelado no Google SketchUp 8.

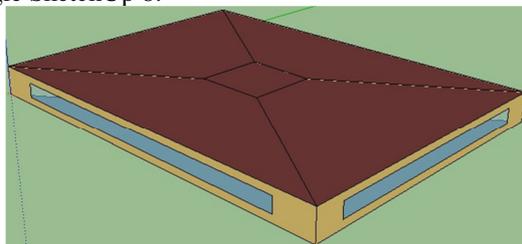


Figura 1. Modelo tridimensional de um andar típico do edifício em estudo.

3.1. Materiais e elementos construtivos

A estrutura do edifício é predominantemente metálica, mas há também outros materiais correspondentes às camadas das paredes, tetos e pisos que devem ser inseridos no programa para simulação. Os materiais considerados são usuais no mercado de construção civil. As paredes são formadas por quatro camadas: gesso, lã de rocha, bloco de concreto e argamassa. No caso de pisos e tetos as camadas são três: contrapiso, isopor e concreto.

A espessura das camadas foi definida tendo em conta as propriedades e inércia térmica dos materiais utilizados, de forma a obedecer os limites definidos pela norma para isolamento (contra infiltração de ar) e coeficiente de transferência de calor de paredes, pisos e tetos. Os fatores considerados são para edifícios de estrutura metálica retirados da norma ASHRAE 90.1 (ASHRAE, 2007), inicialmente para condições climáticas da cidade de São Paulo, que para a norma utilizada se insere na zona climática 2. A Tab. (1) mostra os requisitos construtivos da norma para um prédio localizado na zona climática 2.

Tabela 1. Requisitos para a zona climática 2.

Propriedade	Unidade	Paredes	Tetos	Pisos	Janelas
Coefficiente de troca de calor	W/(m ² ·K)	0,642	0,369	0,295	3,975
Isolamento mínimo	m ² ·K/W	3,522	3,346	6,692	-
Coefficiente de ganho de calor solar	[-]	-	-	-	0,25

A Tab. (2) mostra as propriedades dos elementos construtivos, de maneira a atender aos requisitos da Tab. (1).

Tabela 2. Propriedades dos elementos construtivos – zona climática 2.

Propriedade	Unidade	Paredes				Piso			Teto		
		argamassa	bloco de concreto	lã de rocha	gesso	concreto	isopor	contra piso	concreto	isopor	contra piso
condutividade térmica	W/(m·K)	0,65	0,91	0,03	0,35	1,75	0,04	1,28	1,75	0,04	1,28
densidade	kg/m ³	1600	1700	190	1200	2400	30	2000	2400	30	2000
calor específico	J/(kg·K)	754	1005	754	910	1005	1000	1005	1005	1000	1005
espessura	m	0,020	0,190	0,038	0,015	0,105	0,132	0,025	0,100	0,100	0,025

3.2. Janelas

Conforme estabelecido pela norma ASHRAE 90.1 (ASHRAE, 2007), a área envidraçada das paredes não pode ser superior a 40% da área total, de forma a garantir o compromisso entre iluminação natural e demanda energética para climatização. A partir das características do edifício, as áreas das paredes de cada andar são 120 m² e 90 m² (sendo 2 pares de paredes iguais). Dessa forma, as janelas do modelo possuem áreas de 48 m² e 36 m². As mesmas são centralmente posicionadas nas paredes e foram concebidas de forma retangular de dimensões (32 x 1,5) m² e (24 x 1,5) m².

As janelas constituem um fator fundamental no comportamento térmico do edifício, tanto pela possibilidade de perdas ou ganhos de calor por meio de frestas (infiltração) quanto pelo ganho interno devido à radiação solar. De forma

semelhante aos materiais de composição das paredes, tetos e pisos, as janelas também devem seguir os requisitos de transmitância térmica e ganho solar da ASHRAE 90.1, conforme a Tab. (1).

3.3. Perfis de utilização do edifício e níveis de atividade

Fatores imprescindíveis para a simulação do edifício são os perfis de ocupação, e de utilização de luzes e equipamentos (i.e. as variações dessas quantidades ao longo do dia). O trabalho considera que o perfil de equipamentos é igual àquele de ocupação. Os perfis inseridos seguem as orientações da ASHRAE 90.1. A Fig. (2) mostra como exemplo o perfil de ocupação utilizado nas simulações.

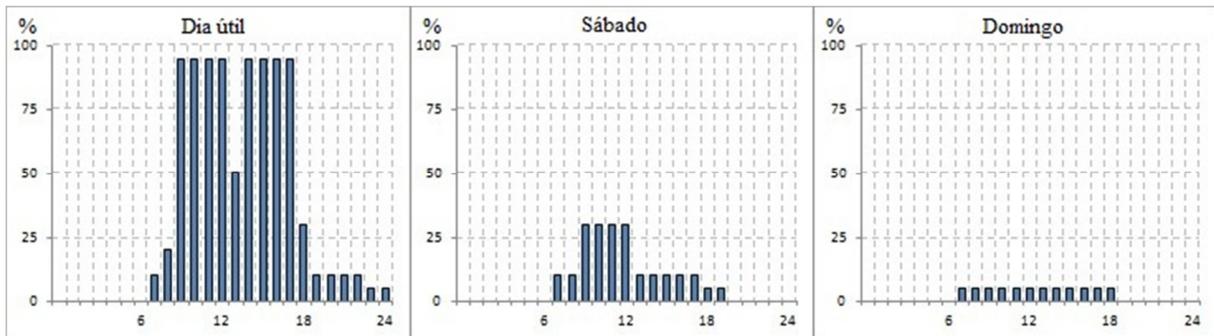


Figura 2. Perfil de ocupação utilizado nas simulações.

No que se refere aos níveis de atividade, também foram seguidos os requisitos da ASHRAE 90.1 para iluminação (12 W/m^2) e da norma NBR 16401-1/2008 para pessoas (115 W/pessoa , $9,3 \text{ m}^2/\text{pessoa}$) e equipamentos ($16,2 \text{ W/m}^2$).

4. Sistema de refrigeração

O sistema de refrigeração do edifício possui três circuitos térmicos, sendo um resfriador (*chiller*), um sistema de rejeição de calor, e outro para climatização do ar propriamente dito. A Fig. (3) mostra um esquema do sistema. As setas representam os sentidos de circulação dos fluidos.

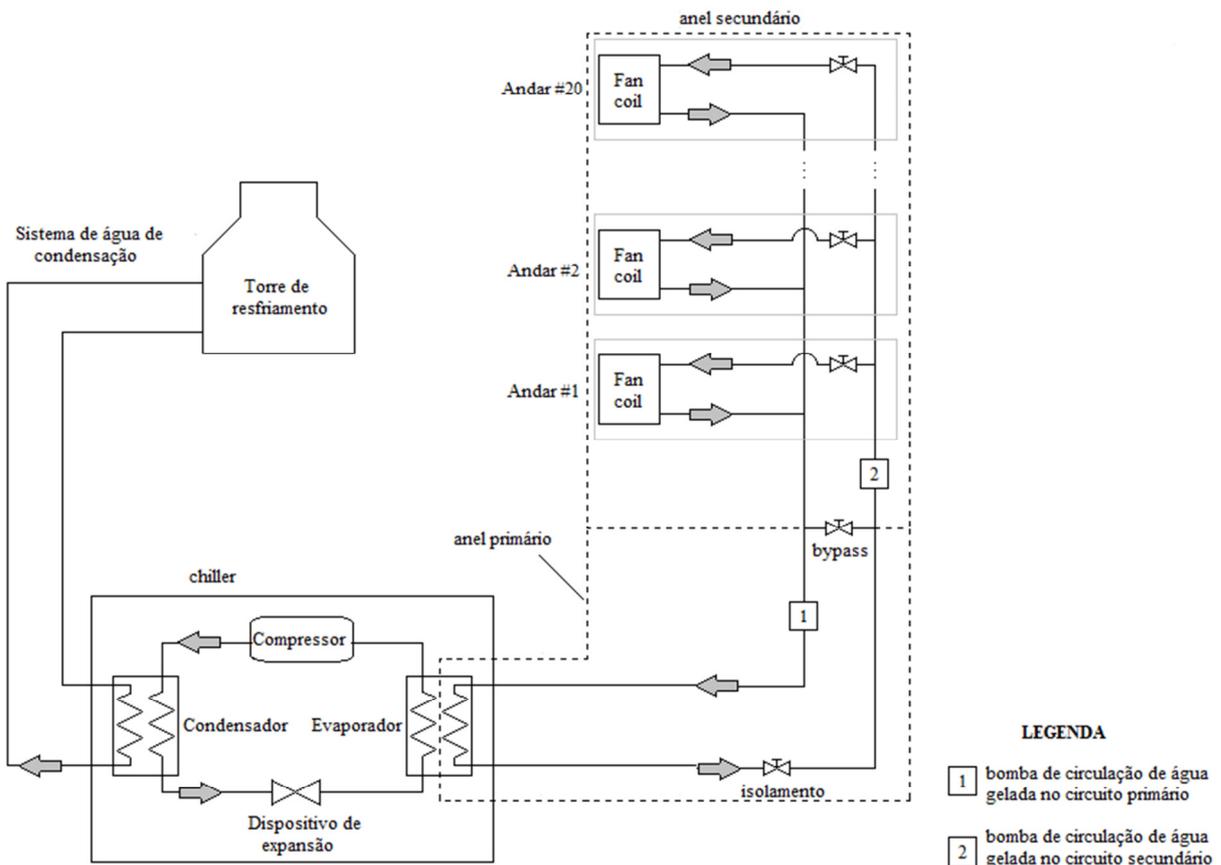


Figura 3. Sistema de refrigeração.

4.1. Funcionamento do sistema

A água gelada, que é uma mistura de água e um sal denominada fluido intermediário, escoando pelos anéis primário e secundário é resfriada ao perder calor para o evaporador do refrigerador (“*chiller*”). O fluido intermediário então é bombeado para os andares do edifício, onde trocará calor com o ar a ser enviado para os ambientes internos. Ao ganhar calor do ar, o fluido retorna aquecido ao *chiller*, onde torna a perder calor no evaporador, repetindo o ciclo.

O fluido refrigerante no circuito do *chiller* inicialmente ganha calor do sistema de água gelada no evaporador. Então o fluido refrigerante (na fase vapor) é comprimido e, em seguida, rejeita calor no condensador, retornando à fase líquida, expandindo-se para novamente ganhar calor no evaporador, repetindo o ciclo.

O sistema de água de condensação (Fig. 3) tem como função rejeitar o calor do condensador do *chiller* para o meio externo. Para isso, ao receber o calor no condensador, a água de condensação é bombeada para uma torre de resfriamento, rejeitando calor para o meio externo, e retornando mais fria até o condensador.

Para os ambientes climatizados do edifício, são fornecidas vazões de ar por meio de caixas VAV (volume de ar variável), que são na realidade equipamentos reguladores dessas vazões. O ar fornecido aos ambientes é distribuído por um sistema de dutos ligado a um ventilador, cuja rotação pode ser variada de acordo com a demanda por climatização. A Fig. (4) mostra o esquema do sistema de distribuição de ar de um andar típico do edifício.

O resfriamento do ar ocorre por meio de um equipamento denominado “fan-coil”, que consiste basicamente em um ventilador acoplado a um trocador de calor. Ali o ar flui por entre os tubos da serpentina, dentro dos quais escoam a água gelada.

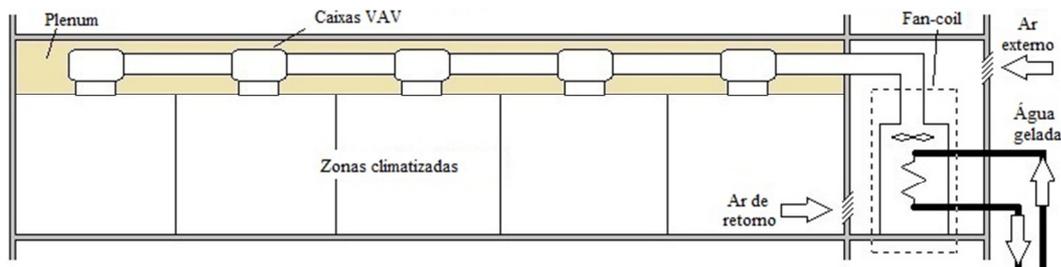


Figura 4. Sistema e caixas VAV.

4.2. Detalhes do sistema de bombeamento de água gelada e possíveis configurações

No sistema de bombeamento de água gelada, pode-se ter diversas configurações no que diz respeito ao controle de vazão nos anéis primários e secundários (vide Fig. 3). Na Fig. (3) são apresentados os principais elementos desse sistema, que são as bombas nos circuitos primário e secundário (identificados como “1” e “2” na Fig. 3). Nas diversas configurações possíveis do sistema, essas bombas podem estar presentes (ou não) em ambos os circuitos, e podem apresentar rotação constante ou variável, de acordo com a presença de dispositivos denominados variadores de frequência.

Na Fig. (3) são mostradas também as válvulas de controle do sistema, sendo uma de isolamento (para impedir refluxo), uma de bypass (para controlar a vazão no anel primário) e outras nos andares (para possibilitar o controle da vazão de acordo com a demanda por climatização em cada andar).

Alguns autores como Kisner (1996) e Taylor (2002) mostram que sistemas de climatização com bombas variáveis somente no anel primário (e portanto sem sistema de bombeamento no secundário) apresentam consumo energético menor que o sistema convencional utilizado nos Estados Unidos, com acionamento em ambos os anéis (primário constante e secundário variável).

Este trabalho avalia, para o edifício em questão, as quatro configurações para o sistema de acionamento do circuito de água gelada: (1) acionamento variável no anel primário, e constante no secundário; (2) acionamento constante no primário, sem secundário (esta configuração corresponde à referência mais utilizada no mercado brasileiro), (3) acionamento constante no anel primário, variável no anel secundário e (4) acionamento variável no primário, sem secundário. O intuito é comparar o impacto de cada configuração no consumo de energia elétrica em um edifício comercial típico climatizado.

5. Modelagem do problema

O EnergyPlus é um aplicativo livre desenvolvido para auxiliar no dimensionamento de sistemas de climatização e analisar o desempenho energético de edifícios. A partir da inserção de dados característicos da edificação, o programa calcula a carga térmica solicitada para manter os limites estabelecidos de temperatura, o consumo de energia pelos sistemas de condicionamento de ar e por outros fatores como iluminação e equipamentos elétricos.

A inserção dos dados de geometria do edifício é realizada a partir da criação de um modelo 3D no programa Google SketchUp 8. Além da geometria, o clima e a localização são fundamentais dentro das solicitações de normas para edificações como a ASHRAE 90.1 (ASHRAE, 2007), influenciando na escolha de materiais e técnicas de construção. Conforme mencionado anteriormente, o edifício é inicialmente considerado na cidade de São Paulo (SP).

Demais fatores comentados também são implementados no aplicativo, tais como os perfis e intensidade de uso, propriedades de materiais e todas as características construtivas do sistema de climatização dentre as quais está o regime de vazão de água gelada nos anéis primário e secundário, fundamental para as análises a serem realizadas. Finalmente, para as simulações também são utilizados arquivos com dados climáticos da cidade em estudo.

6. Simulações

O intuito principal deste trabalho é a comparação de diferentes configurações do sistema de circulação de água gelada em sistemas de climatização para um edifício comercial típico. Para esta comparação serão realizadas simulações para as quatro configurações descritas anteriormente. Além disso, para avaliar o impacto dessas configurações para diferentes níveis de ocupação de uma edificação comercial, são realizadas simulações nas quais também é modificado o perfil de ocupação da edificação. Nesses casos, serão utilizados níveis de ocupação/equipamentos e de iluminação descritos na norma NBR 16401 (ABNT, 2008) e que são apresentados na Fig. (5). Deve-se ressaltar que para cada configuração do sistema de circulação de água gelada, serão realizadas todas as variações dos perfis de ocupação apresentados na Fig. (5).

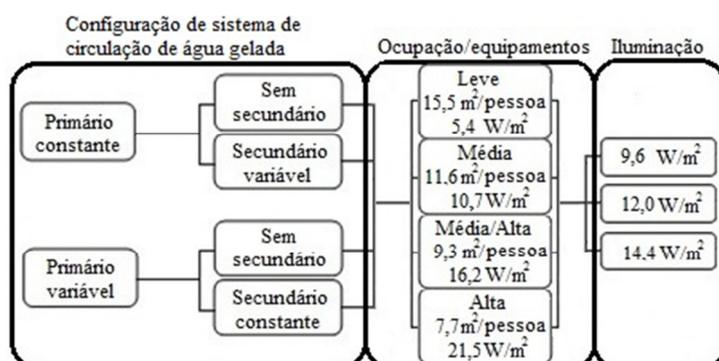


Figura 5. Simulações.

Para proceder com as comparações, a configuração a ser adotada como referência será: acionamento do anel primário constante, sem secundário, intensidade média/alta para ocupação/equipamentos e iluminação 12 W/m². Em cada simulação obtêm-se resultados de consumo de energia elétrica para cada mês do ano, bem como a contribuição de cada fonte de consumo no consumo de energia total (equipamentos, luzes, ventiladores, bombas e resfriadores). Em seguida são implementadas alterações no modelo, de maneira a verificar como diferenças na intensidade de utilização do prédio e vazões de fluidos intermediários no sistema de circulação de água gelada influenciam no consumo de energia da edificação.

Deve-se ressaltar que o tipo de ocupação (leve, média, média/alta e alta) define simultaneamente o calor liberado por equipamentos e a taxa de ocupação dos ambientes. Em outras palavras, essas características estão atreladas, e não podem ser alteradas independentemente, conforme mostrado na Fig. (5).

Com base nos resultados obtidos como o consumo anual de energia pelo sistema de climatização e os gastos financeiros totais com fornecimento de eletricidade, é conveniente identificar as fontes de consumo mais relevantes, e principalmente verificar se ocorrem variações significativas dessas parcelas para as variações propostas anteriormente.

Por fim, são realizadas mais algumas simulações para o mesmo edifício com a configuração denominada de referência localizado em outras cidades brasileiras, conforme já dito. O intuito dessas simulações é verificar como as características climáticas locais influenciam no consumo de energia elétrica do edifício.

6.1. Resultados da simulação para o edifício de referência

O Energy Plus realiza cálculos de acordo com as solicitações do programador e das características do edifício modelado. As saídas de interesse no caso em estudo são: consumo de eletricidade por fonte de uso e gastos financeiros anuais do edifício. Sendo assim a Tab. (3) resume os principais resultados obtidos para a simulação da edificação denominada aqui como referência.

Tabela 3. Resultados anuais do sistema de climatização de referência (primário constante, sem secundário) nas condições de base.

Ventiladores (MWh)	Bombas (MWh)	Chiller (MWh)	Calor rejeitado (MWh)	Climatização total (MWh)	Gasto financeiro anual total do edifício (R\$)
127,11	134,62	1046,73	24,32	1332,78	809.664,02

A Fig. (6) apresenta graficamente os resultados obtidos ao longo de um ano, e possibilitam visualizar as principais fontes de consumo.

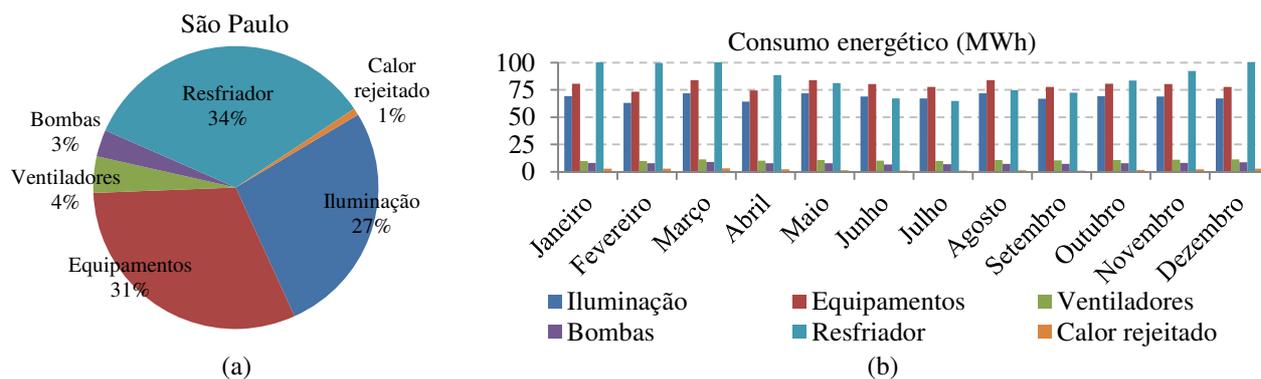


Figura 6. Matriz de consumo desagregado de energia (a); distribuição do consumo de energia mensal (b) para a cidade de São Paulo.

Os resultados obtidos pela simulação da edificação de referência mostram que o sistema de climatização (a saber, resfriador, bombas, ventiladores e calor rejeitado na torre de resfriamento) é responsável por 42% de todo o consumo energético anual do edifício. Equipamentos e iluminação interna consomem o restante, embora individualmente sejam menos expressivos. Além disso, na Fig. (6) é possível observar que (como esperado) o consumo energético do sistema de refrigeração é maior de novembro a março, mostrando coerência dos resultados pois trata-se do período mais quente do ano. Pode-se acrescentar que o consumo de energia de equipamentos e iluminação variam pouco de mês a mês.

6.2. Resultados para as demais configurações

Os resultados das demais configurações propostas neste estudo mostram que para intensidades de iluminação, ocupação e utilização de equipamentos menores, o edifício tem níveis de consumo de energia menores. Por outro lado, para configurações onde os índices de utilização são mais elevados, maiores consumos de energia elétrica são verificados (vide Fig. 7). No que se refere aos resultados obtidos quando da mudança de estratégias para controle de acionamento do sistema de circulação de água gelada, pode-se observar na Fig. (7) que os sistemas de climatização com acionamento somente no anel primário e com bombas com rotação variável apresentam menor consumo de energia. Os resultados obtidos neste trabalho concordam com outros trabalhos pesquisados, como Taylor (2002).

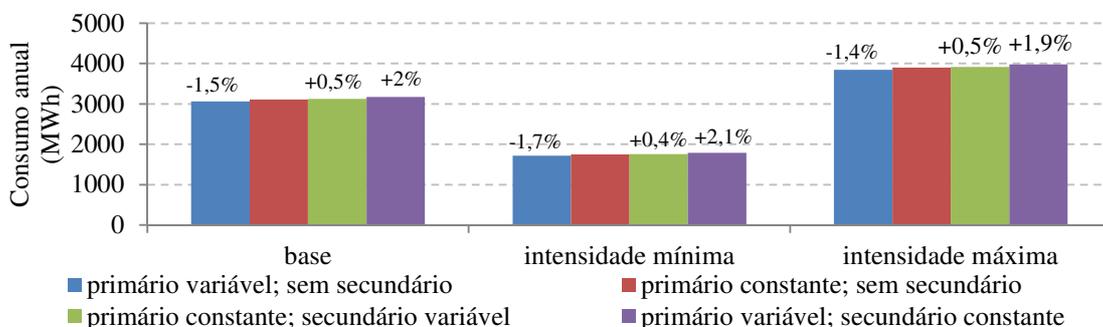


Figura 7. Consumo de energia elétrica anual total para as condições de uso máxima, mínima e de referência. Intensidade máxima corresponde às condições máximas de ocupação, equipamentos e iluminação; intensidade mínima corresponde às condições mínimas, conforme descrito na Fig. (5).

Da Fig. (7) observa-se que o consumo de energia elétrica, para uma dada intensidade de uso, é sempre mínimo para o sistema com bomba de rotação variável no circuito primário, e sem acionamento no secundário. Outro fato a ser ressaltado é que as diferenças percentuais de consumo de energia elétrica entre as estratégias em relação ao caso de referência é aproximadamente igual para todas as intensidades de uso.

Em comparação com a referência, a estratégia com anel primário com rotação variável e sem bombeamento no anel secundário (descrita na Fig. (7) como “primário variável, sem secundário”) apresenta redução de 1,5%, e as outras duas estratégias apresentam aumentos de aproximadamente 0,5% e 2,0%.

Foram realizadas análises referentes aos gastos financeiros anuais com energia elétrica, onde se verificaram pequenas alterações entre a aplicação das tarifas horo-sazonais verde e azul, sendo que a tarifa verde mostrou-se ligeiramente vantajosa em todas as simulações.

Para avaliar as razões pelas quais o consumo de energia teve o comportamento aqui apresentado, lançou-se mão da comparação da contribuição de cada fonte de consumo sobre o total, e a comparação entre cada estratégia, sendo que os resultados são apresentados na Fig. (8).

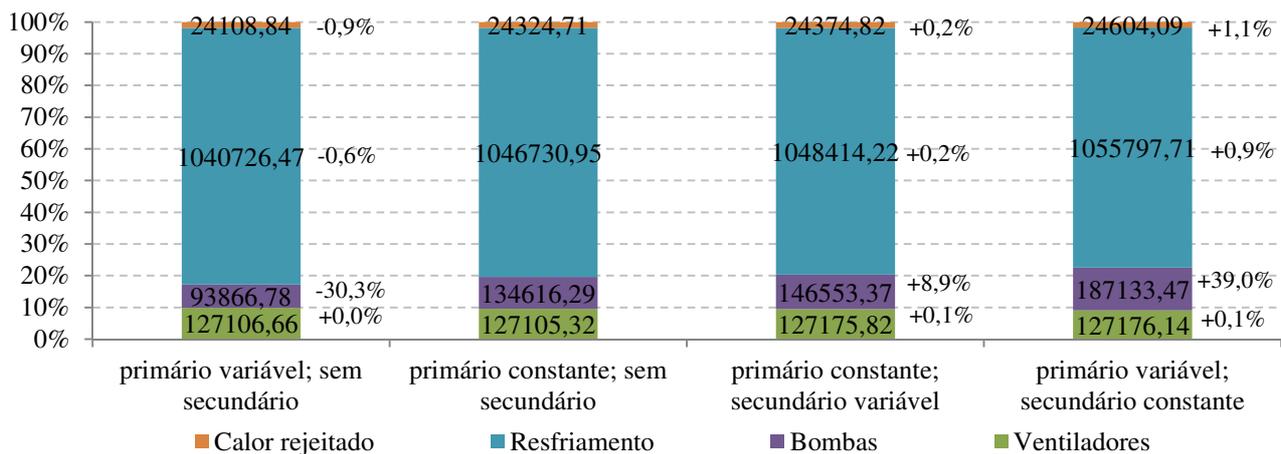


Figura 8. Participação percentual de cada fonte consumidora de energia para cada estratégia de consumo de energia do sistema de climatização.

As porcentagens na Fig. (8) referem-se à variação de cada parcela em relação à condição de referência (anel primário com rotação constante; sem bombeamento no anel secundário). Como esperado, o aumento de consumo nas configurações menos vantajosas se dá em função do aumento expressivo do consumo por bombas no anel secundário.

6.3. Resultados das simulações para outras cidades

Todos os resultados apresentados até aqui foram gerados a partir de simulações do edifício na cidade de São Paulo. A fim de entender o comportamento do mesmo prédio em outras condições climáticas e geográficas, simulações foram feitas com a edificação nas condições de referência para as cidades de Rio de Janeiro e Salvador (ambas localizadas na zona climática 1 de acordo com a classificação da norma 90.1 (ASHRAE,2007)).

Para atender as orientações da norma 90.1 (ASHRAE,2007), foram alterados apenas os dados geográficos das cidades (latitude, longitude, altitude), a espessura da camada de isopor dos pisos e as propriedades do vidro (visto que as solicitações de transmitância térmica agora seguem os valores da zona climática 1), bem como os arquivos climáticos utilizados na simulação.

A Fig. (9) permite comparar o consumo de energia elétrica entre as três cidades analisadas.

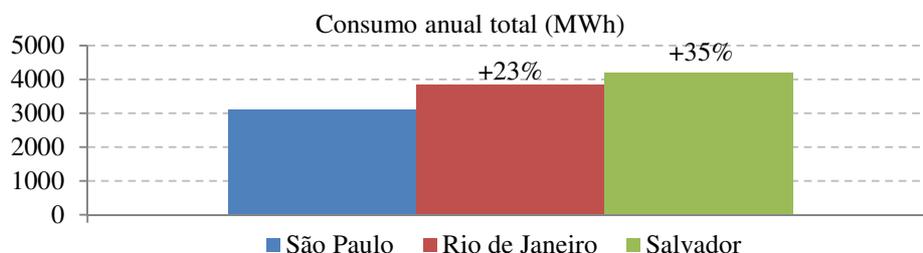


Figura 9. Consumo de energia elétrica anual total nas cidades analisadas.

Observa-se que Rio de Janeiro e Salvador apresentam consumos anuais mais elevados (respectivamente 23% e 35% maiores em relação a São Paulo), devido ao clima mais quente, o que implica em maior demanda energética por parte do sistema de climatização.

A Fig. (10) permite avaliar que o sistema de climatização é mais requisitado nas cidades mais quentes, o que explica o consumo de energia mais elevado observado. Enquanto que em São Paulo o sistema de climatização corresponde a 42% do total, no Rio de Janeiro essa parcela cresce para 53%, e em Salvador, 57%.

A Fig. (11) mostra os valores de consumo de energia elétrica de cada componente do sistema de climatização, evidenciando a contribuição de cada parcela no total consumido, podendo inferir o crescimento das contribuições dos componentes do sistema de climatização. Na Fig. (11), os valores percentuais correspondem às variações de consumo de energia em relação aos dados obtidos para a cidade de São Paulo.

Na Fig. (12) são apresentados os resultados obtidos devido a mudança de configuração do sistema de circulação de água gelada para as três cidades analisadas. Verifica-se inicialmente que a configuração com anel primário com rotação variável sem secundário é a solução com menor consumo de energia elétrica para as três cidades. Além disso, observa-se que as demais configurações promovem níveis de consumo de energia elétrica maiores para as cidades do Rio de Janeiro e Salvador, em relação aos níveis atingidos na cidade de São Paulo.

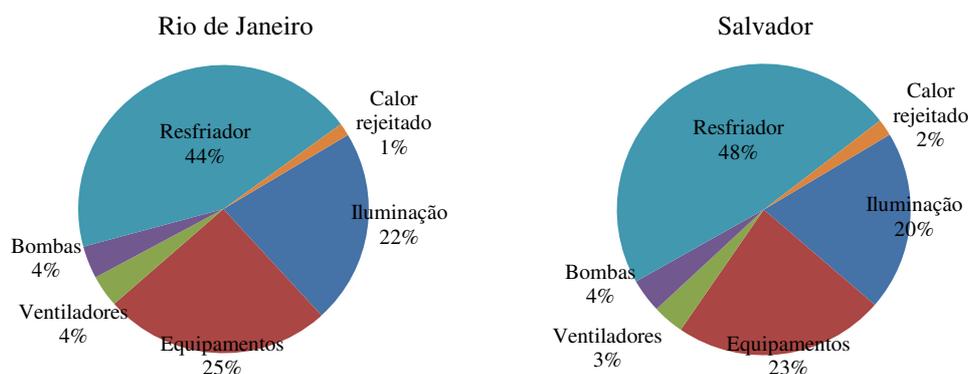


Figura 10. Demanda anual de eletricidade (por fonte consumidora) – Rio de Janeiro e Salvador.

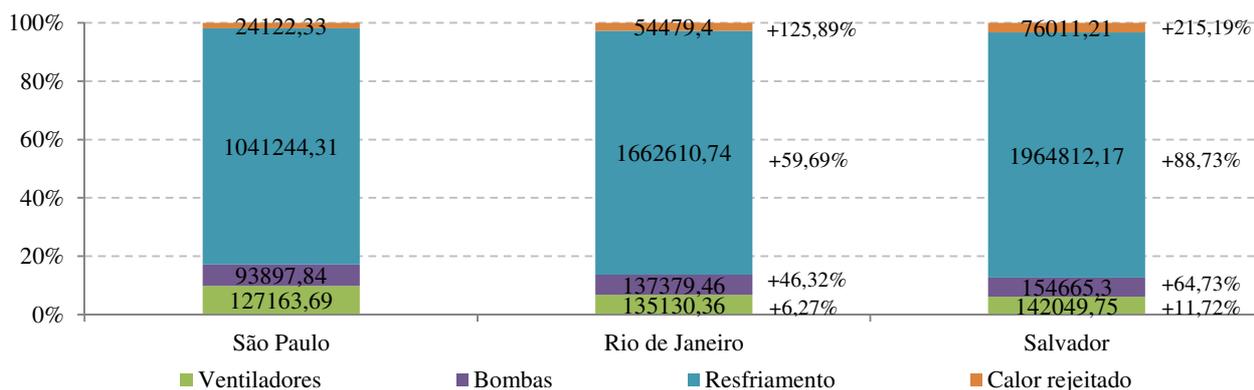


Figura 11. Contribuição de cada parcela no consumo total do edifício para as três cidades (valores em kWh).

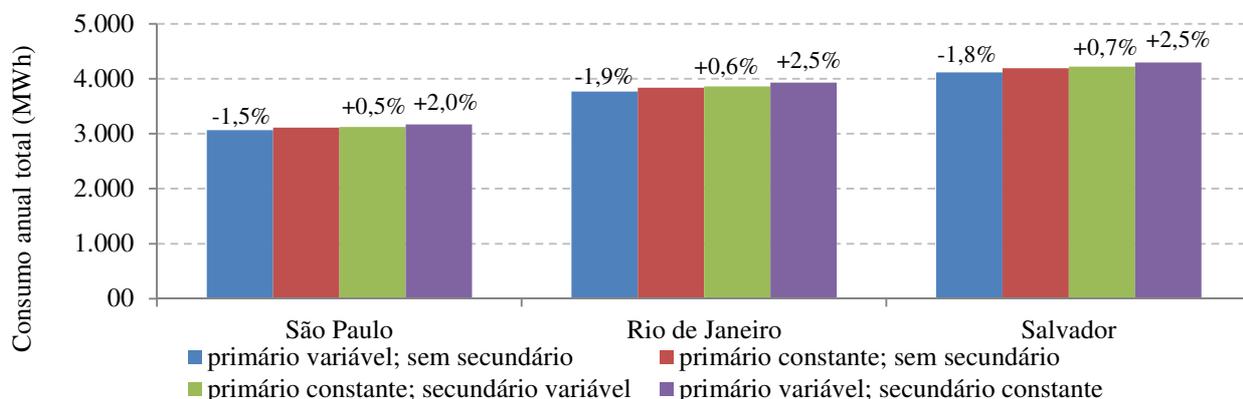


Figura 12. Comparativo de consumo de energia elétrica para diferentes configurações do sistema de circulação de água gelada, para as cidades de São Paulo, Rio de Janeiro e Salvador.

6.4. Análise econômica das alternativas

Além da redução de consumo observada para algumas estratégias em comparação a outras, e consequente redução nas despesas anuais com energia elétrica, é analisado o impacto causado no orçamento com a instalação dos sistemas. Dessa maneira, é realizada uma análise econômica do projeto, visando observar se a alternativa aparentemente mais vantajosa em termos de consumo apresenta custos de instalação aplicáveis. Essa análise limita-se apenas às condições de referência, e à cidade de São Paulo.

Toda a análise parte das características das bombas dos circuitos de refrigeração. Os resultados da simulação mostram que a potência de pico consumida pelas bombas é de 12 kW, ou cerca de 15 CV, e a vazão máxima calculada é de 44 kg/s. Para essas condições, foram escolhidas bombas e variadores de frequência com 20 CV, e bombas com motores elétricos com 4 pólos.

Para efeito de análise serão comparados os custos e a análise econômica será realizada usando como base a edificação de referência com sistema de bombeamento no anel primário com vazão constante sem bombeamento no anel secundário. A comparação será feita então com a edificação que apresentou o menor consumo, ou seja, com sistema de bombeamento primário com rotação variável sem bombeamento no anel secundário.

Além disso, definiu-se que a vida útil dos equipamentos seria de 10 anos e os valores de gastos de consumo de energia relacionados à operação do edifício foram calculados com base no valor presente com uma taxa de juros de 8% a.a.

Para a avaliação de viabilidade econômica da configuração de rotação variável, calculou-se a economia gerada ao longo de 10 anos de operação e comparou-se com o custo de operação total da edificação, sendo que os resultados obtidos são apresentados na Tab. (4). Cabe ressaltar que nesta análise não foram incluídos efeitos de inflação e impostos e foi utilizada a estrutura tarifária horo-sazonal verde. Analisando a Tab. (4), pode-se inferir que o investimento nos variadores de frequência é amortizado em menos de 1 ano, podendo ser considerada uma alternativa economicamente viável.

Tabela 4. Resultados da análise econômica.

	Bombas	Inversores	Custo de equipamentos	Energia		
				Consumo anual	Economia em 1 ano	
Primário constante, sem secundário	1	1	R\$ 7.132,00	R\$ 809.664,02	R\$ -	-
Primário variável, sem secundário	1	1	R\$ 7.132,00	R\$ 794.965,94	R\$ 14.698,08	1,8%

7. Conclusões

Este trabalho estudou diferentes tipologias de sistemas de acionamento de circulação de água gelada, comparando-as a fim de identificar a que apresenta menor consumo de energia elétrica. A análise foi feita para um edifício de escritórios, localizado na cidade de São Paulo, sob diferentes intensidades de uso (intensidade de luzes, equipamentos e pessoas), para identificar a influência desses fatores no consumo de energia elétrica.

Em comparação com os resultados de referência, intensidades mais elevadas de ocupação apresentaram consumos até 30% maiores, o que também refletiu no levantamento de despesas com energia (com aumentos da mesma ordem). Naturalmente, cargas mais leves trazem menores consumos e gastos (reduções de até 44% foram verificadas).

Em paralelo, as variações no controle de acionamento dos sistemas de circulação de água gelada nos anéis primário e secundário do sistema de climatização foram variados para 3 condições diferentes. Algumas publicações (Taylor, 2002 e Kisner, 1996) atestam que a condição de anel primário com rotação variável, somente, é a mais vantajosa atualmente no mercado. De fato, isso foi verificado, e essa estratégia apresentou redução da ordem de 1,5% em relação ao sistema de referência. As outras alternativas com acionamentos primário constante e secundário variável, e vice-versa, apresentaram consumos superiores à referência em 0,5% e 2,0%, respectivamente.

Além disso, foi mostrado que a localização do edifício tem papel fundamental em seu consumo anual. Esse fato foi avaliado com simulações do mesmo modelo em Salvador e no Rio de Janeiro. Essas cidades pertencem à zona climática 1, e portanto apresentam outros requisitos construtivos. Com o clima mais quente, o consumo do sistema de climatização é muito superior nessas cidades. Sendo assim, o edifício no Rio de Janeiro apresentou um consumo 23% superior ao de São Paulo, e Salvador, 35%.

Verificou-se que a configuração com anel primário com rotação variável sem secundário é a solução com menor consumo de energia elétrica para as três cidades. Além disso, observa-se que as demais configurações promovem níveis de consumo de energia elétrica maiores para as cidades do Rio de Janeiro e Salvador, em relação aos níveis atingidos na cidade de São Paulo.

Por fim, foi realizada uma breve análise econômica da estratégia de circulação de água gelada de referência, considerando sua substituição pela opção de menor consumo. A análise mostrou que a economia em números absolutos foi muito expressiva, e os investimentos são neutralizados já no primeiro ano. A redução na conta de luz foi de 1,8% no ano de número um, e de 1,7% considerando vida útil dos equipamentos de 10 anos.

Em uma análise mais ampla, o projeto permitiu o contato com um tema muito atual, e que vem ganhando ainda mais importância nos últimos tempos. Muito mais do que a questão financeira, o tema da sustentabilidade e da conservação do meio ambiente vêm sendo bastante explorados. A melhor utilização dos recursos da natureza deixa o homem cada vez menos dependente de fontes de energia mais poluentes, o que certamente traz benefícios à sociedade. Assim, é fundamental criar projetos preocupados com o meio ambiente, como é o caso da construção de edifícios sustentáveis.

Nessa linha, é de grande valor a existência de normas reguladoras no setor de construção civil. Naturalmente essas iniciativas são muito mais avançadas em países desenvolvidos, mas felizmente observa-se a crescente participação do Brasil nesse cenário, e trabalhos como este têm por objetivo também a divulgação dessa tendência, mostrando à sociedade mais essa forma para contribuir para a melhoria da qualidade de vida.

Finalmente, embora os ganhos observados (em termos de consumo energético) entre as diferentes estratégias de climatização para o exemplo estudado neste trabalho tenham sido pequenos (inferiores a 4% no melhor caso), já são suficientes para gerar interesse, e chamam a atenção pelo rápido retorno do investimento obtido. Dessa forma, o trabalho também teve como objetivo incentivar o estudo do tema, eventualmente considerando diferentes possibilidades não avaliadas aqui.

Houve indícios de que sistemas de climatização com vazão variável em ambos os anéis de refrigeração poderiam gerar resultados ainda mais vantajosos. Esses indícios colocam como sugestão de continuação deste trabalho a possibilidade de estudo comparativo de todos os regimes possíveis de vazão entre primário e secundário. Isso demandaria trabalho, inclusive de programação, para adicionar algumas condições ao software Energy Plus, mas que certamente valeriam a pena para um estudo mais completo.

Outra forma de sofisticar as análises iniciadas aqui é através da atuação sobre estratégias de controle do sistema. Nesse caso poder-se-ia explorar parâmetros de controle utilizados no software Energy Plus. Há publicações (Gao et al 2011 e Ma&Wang 2008) que tratam desse tema, e resultados bastante expressivos têm sido obtidos no que se refere à melhoria da eficiência de sistemas como os estudados neste trabalho.

Uma outra possibilidade é o estudo integrado de diferentes estratégias de melhoria do consumo, partindo de um estudo como o desenvolvido neste relatório, como por exemplo o uso conjunto de economizadores ou de vigas frias. A princípio essas combinações trariam benefícios maiores, mas seria conveniente quantificar a vantagem e verificar sua viabilidade. Além disso certamente as estratégias são mais ou menos eficazes de acordo com o clima da cidade em estudo, fato que poderia ser incluído na análise.

Enfim, trata-se de um tema amplo, abrangente, e com muitas vertentes passíveis de observação. Em virtude de sua atualidade, importância e interesse crescente, muitas publicações vêm sendo produzidas, o que serve como incentivo e fonte de estudo e pesquisa para estudantes que venham a se interessar.

8. Referências

ASHRAE Standard 90.1, 2007, “Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings”. I-P edition, 183 p.

Gao, D.; Wang, S.; Sun, Y., 2011 “A fault-tolerant and energy efficient control strategy for primary–secondary chilled water systems in buildings”, Elsevier Journal of Energy and Buildings, Vol. 43, Issue 12, pp. 3646-3656.

Kirsner, W., 1996, “The Demise of the Primary-Secondary Pumping Paradigm for Chilled Water Plant Design”, HPAC Engineering, Vol. 68, Issue 11, pp. 73-78.

Ma, Z.; Wang, S., 2008, “Energy efficient control of variable speed pumps in complex building central air-conditioning system”, Elsevier Journal of Energy and Buildings, Vol. 41, Issue 2, pp. 197-205.

Taylor, S. T., 2002, “Primary-Only vs. Primary-Secondary Variable Flow Systems”, ASHRAE Journal, Vol. 44, Issue 2, pp. 25-29.

EVALUATION OF CONTROL OF ACTIVATION OF CIRCULATION OF INTERMEDIATE FLUID IN CENTRAL HVAC SYSTEMS.

Vinicius Navarro Herdy

navarro.vinicius@gmail.com

Abstract. *The paper here presented has as its main objective identifying the configuration of the control system of circulation of chilled water that has the lowest energy consumption of HVAC systems for buildings. The evaluation is performed considering a commercial building located in the city of São Paulo. The building is designed in a 3D modeling software, and the annual energy consumption is evaluated in the software EnergyPlus, by varying three parameters: intensity of use (occupancy and use of equipments), lighting levels and flow regime in the chilled water loop (intermediate fluid). The modeling is performed according to the guidelines of the standard ASHRAE 90.1. The reference system in the Brazilian market of central HVAC is a constant speed pump in the primary loop without secondary pump. The results showed that the system with variable pump in the primary, no secondary, has a lower energy consumption (-1.5% compared to the reference) and the other options (constant primary with variable secondary, and vice versa) had higher ones (+ 0.5% and +2.0%, respectively) for all conditions studied. The same building simulated in Rio de Janeiro and Salvador presented increases in consumption of 23% and 35%, respectively, compared with São Paulo. In these cities the same trend was observed for different flow regimes of chilled water, and the strategy of lower consumption is still more interesting comparatively, with reduction of 1.9% compared to the reference.*

Keywords. HVAC, simulation, control, intermediate fluid.