

ESTUDO DE CASO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DOS SISTEMAS DE RENOVAÇÃO DE AR VARIÁVEL, RECUPERAÇÃO DE ENERGIA E FREE COOLING

Marcelo Cintra Martins¹ – marcelocintramartins@gmail.com

Murilo Prudente Barbosa¹ – murilomack@hotmail.com

Matheus Valverde² – theuvalverde@gmail.com

João Pimenta¹ – pimenta.joao@gmail.com

¹ Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica LaAR - Laboratório de Ar Condicionado e Refrigeração, www.facebook.com/UnB.LaAR

² Congresso Nacional, Câmara dos Deputados, Diretoria de Manutenção

F3 - Cálculo, Projeto e Simulação Termo Energética

Resumo. O presente artigo descreve um estudo de caso sobre eficiência energética e controle de qualidade do ar interior (QAI) de sistema de ar condicionado com tecnologias de vazão de ar exterior variável (DCV), recuperação de energia (ERV) e free cooling no plenário Ulysses Guimarães, Brasília - DF. Uma simulação computacional com auxílio dos softwares OpenStudio e Energyplus acerca do sistema de climatização em estudo foi realizada para analisar o potencial de economia na utilização de recursos como ERV, DCV e free cooling. Para tal, foram consideradas condições climáticas locais, características arquitetônicas do plenário, bem como as eficiências dos equipamentos utilizados. Os resultados mostraram que a combinação das tecnologias avaliadas foi capaz de proporcionar economias de até 20% nos custos operacionais do sistema de ar condicionado em ambientes que apresentam perfil de ocupação variável.

Palavras-chave: Eficiência energética, Recuperação de energia, Vazão de ar variável, EnergyPlus, Free cooling.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento populacional contínuo, bem como a busca incessante por desenvolvimento e tecnologia, está diretamente relacionado ao aumento do consumo energético. Atualmente, o grande desafio é a busca pela eficiência energética, visto que estamos sujeitos às mudanças climáticas que podem influenciar a produção e o consumo de energia. Outro aspecto muito importante é a redução dos impactos ambientais, é necessário que a geração de energia e a redução de impactos ambientais permaneçam juntas durante o desenvolvimento.

Edificações que fazem uso de climatização artificial são foco da implementação de medidas que visam à eficiência energética, visto que possuem um grande potencial de economia. Soluções de climatização como a de operação de sistemas em cargas térmicas parciais torna possível sistemas capazes de modular seu funcionamento de maneira eficiente, não sendo necessário atuação em carga máxima em condições favoráveis.

Uma proposta muito importante, assim como a operação em cargas parciais, é a implantação de recuperadores de energia em sistemas de climatização. O recuperador é um dispositivo com a finalidade de recuperar energia térmica de um sistema de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC), reduzindo os custos de operação do sistema.

Em casos de edifícios com ocupação de pessoas, existem alguns aspectos que devem ser levados em conta durante um projeto de climatização. Neste ambiente é necessário que o ar respirado pelos ocupantes seja de boa qualidade e que o conforto térmico seja estabelecido de forma eficiente. Ambientes fechados estão sujeitos a diferentes tipos de poluição, sendo elas o excesso de CO₂ ou até mesmo a presença de fungos e bactérias no local.

Associado ao controle de equipamentos de climatização está o caso de utilização em edifícios de ocupação variável. Desta maneira, as análises de renovação de ar associadas à recuperação de energia em AVAC são de fundamental importância quando se trata de eficiência energética.

Gabel *et al* (1986) realizaram um estudo que envolveu uma análise do consumo de energia e níveis de poluentes no ambiente de pequeno edifício comercial. Este estudo experimental incluiu diversas medições durante as estações climáticas de primavera, verão e inverno. Foram realizados dois tipos de medições, em situações normais de operação e em seguida foi utilizada a metodologia de Ventilação Controlada por Demanda (VCD) para o controle de concentração de CO₂. O grupo concluiu que o sistema de controle operando em condições de concentração entre 1800 mg/m³ (100 ppm) e 2160 mg/m³ (1200 ppm) foi capaz de proporcionar a renovação de ar necessária para a ocupação média, que por sua vez era muito inferior para o qual o sistema de climatização havia sido projetado, cerca de 10% a 15%.

A ventilação de ar externo é uma condição necessária para se obter Qualidade do Ar Interior (QAI). As atuais normas nacionais definem um valor mínimo de vazão de ar exterior e de nível de filtragem com o intuito de reduzir a concentração de contaminantes no ar interior, uma vez que este edifício está sujeito a ocupação de pessoas. A admissão de ar externo no local, implica em uma carga térmica adicional no sistema de climatização. Portanto, a eficiência energética em sistemas de AVAC está diretamente ligada aos requisitos de QAI (Perez-Lombard *et al.*, 2011).

Dentre os principais processos de recuperação de energia em instalações de AVAC, pode-se destacar a recuperação térmica a partir do ar de exaustão. O ar externo adentra o edifício em condições climáticas externas e é exaurido aproximadamente nas condições internas. Este processo requer o uso de carga térmica de ventilação. A energia térmica do ar de exaustão pode ser utilizada para pré-aquecer ou resfriar o ar externo de renovação, proporcionando reduções na carga térmica devido à ventilação (Perez-Lombard *et al.*, 2011).

Os equipamentos que realizam este processo são chamados de recuperadores de energia ar-ar (*air-to-air energy recovery equipment*). Esses recuperadores de energia entre fluxos de ar podem ser divididos em dois grupos: i) sistemas de recuperação que transferem apenas calor sensível (*heat recovery ventilator - HRV*) e ii) sistemas de recuperação de calor e umidade que transferem tanto calor sensível quanto calor latente (*energy recovery ventilator - ERV*) (VALVERDE, 2016).

Palmiste e Voll (2016) realizaram um estudo com o objetivo de analisar o potencial de free cooling direto em condições climáticas da Estônia. Foi desenvolvido um estudo climático para identificar os instantes os quais apresentavam condições potenciais para free cooling. Foram selecionadas três condições de operação, free cooling total, free cooling parcial e climatização mecânica. Verificou-se que durante o verão essa tecnologia seria mais eficiente de acordo com a temperatura do ar fornecido, de modo que quanto maior for a temperatura do ar que pode ser utilizado, maior será a eficiência, ou seja, uma maior quantidade de ar poderá ser utilizada. Durante as outras épocas do ano, essa característica não é tão predominante, não impactando significativamente na eficiência.

1.1 Objetivos

O presente trabalho teve como objetivo principal conduzir estudos para investigar os efeitos das técnicas de recuperação de energia, de vazão de ar exterior variável e de free cooling, em um sistema de ar condicionado para conforto do plenário Ulysses Guimarães da Câmara dos Deputados, Brasília – DF. Tal trabalho será baseado principalmente em simulação computacional, que proporcionará dados para basear a instalação dessas técnicas no local.

A este objetivo principal, se associa ainda uma análise que busca mensurar a qualidade do ar interior no ambiente ocupado do plenário. Para tal, será apresentado um estudo acerca da metodologia de análise de dados relacionados à concentração de dióxido de carbono. Além de comparar a efetividade de diferentes soluções propostas pela norma ABNT NBR 16401 – 3/2008. Realizar um estudo de campo para identificar os locais nos quais os sensores de monitoramento serão instalados e quais sistemas de controle utilizar.

A metodologia utilizada consistiu, primeiramente, na elaboração de um planejamento de instalação dos sistemas de recuperação de energia, de controle de vazão de ar exterior por CO₂ e free cooling com water-side e air-side economizer.

Uma simulação computacional foi realizada com base no ambiente de estudo. Para essa avaliação, inicialmente foi modelado um ambiente 3D por meio do software SketchUP. Posteriormente, foram utilizados os softwares OpenStudio e EnergyPlus para determinar a carga térmica e realizar toda simulação dos componentes relacionados à climatização do ambiente.

A modelagem avalia o ambiente em cinco cenários distintos: i) o primeiro cenário representa o sistema atual em operação do ambiente, onde não há nenhum controle para vazões de ar exterior, tampouco recuperação de energia; ii) o segundo, representa o mesmo sistema, porém com o controle da vazão de ar exterior; iii) o terceiro, utiliza o recurso da recuperação de energia vinculado ao sistema atual; iv) o quarto, representa o cenário do sistema com as tecnologias de vazão de ar exterior variável, associada à recuperação de energia; v) o quinto cenário representa o sistema com controle de vazão de ar exterior associado ao recurso de free cooling.

2. ESTUDO DE CASO E METODOLOGIA

O plenário Ulysses Guimarães está localizado na Câmara dos Deputados no edifício do Congresso Nacional, Brasília - DF. É o maior e principal plenário na atual conjuntura política brasileira, palco de discussões e votações de leis que regem a vida de todos os cidadãos brasileiros.

Nesta etapa do trabalho objetiva-se aplicar a metodologia proposta para avaliação de um ambiente condicionado, com ocupação variável, operando com recuperação de energia e vazão de ar exterior variável. O ambiente em estudo apresenta um perfil de ocupação extremamente variável, o que favorece na avaliação de tecnologias como o DCV e recuperação de energia.



Figura 1. Congresso Nacional (UVB, 2016)



Figura 2. Plenário Ulysses Guimarães (HojeLivre, 2014)

A carga térmica consiste na energia retirada (ou fornecida) ao ambiente a fim de manter as condições de temperatura dentro um intervalo pré-estabelecido nas zonas ocupadas. Para o estudo de caso realizado, esta metodologia conduzirá a obtenção de uma solução ótima que minimize a carga térmica total a ser retirada do ambiente e consequentemente o consumo de energia em diversos cenários.

Os cálculos referentes às cargas internas são efetuados separando as transferências de calor por convecção e das transferências por radiação, pois esta última induz um atraso no tempo devido a transferência entre superfícies (inércia térmica).

Desta maneira, para que o *software* EnergyPlus seja capaz de fornecer resultados precisos, é necessário a caracterização de vários parâmetros:

- Cidade de projeto;
- Estrutura física do ambiente (dimensões);
- Envoltória do ambiente (tipo de materiais);
- Fontes internas de calor (iluminação, equipamentos, ocupantes, etc.);
- Perfil de ocupação;
- Sistema de climatização;

As principais características que foram consideradas para a definição do ambiente, bem como para o cálculo das cargas térmicas estão dispostas na Tabela 1. O ambiente foi considerado sem janelas e com paredes que não apresentam transferência de energia, pois estão em contato com ambientes climatizados.

Tabela 1. Características do ambiente

Parâmetro	Valor
Área	683 m ²
Pé direito	11,4 m
Ocupação máxima	450 pessoas
Cidade de projeto	Brasília – DF
Temperatura interna de conforto	23° C
Carga de iluminação	32 W/m ²
Carga de equipamentos elétricos	3000 W
Taxa de infiltração	10 L/s.m ²
Carga de ocupação	130 W/pessoa
Carga de ventilação do ar externo	Conforme perfil de ocupação e tipo de solução adotada*

Para caracterização da cidade de projeto, os dados de entrada foram baseados nas condições climáticas do local. As temperaturas e umidades relativas da cidade de projeto são parâmetros de entrada para o sistema, uma vez que influenciam o funcionamento do recuperador de energia, carga térmica do ar externo e o funcionamento do ciclo de compressão a vapor do equipamento de ar condicionado.

A Figura 3 apresenta o perfil de temperatura de bulbo seco para a cidade de Brasília/DF segundo um ano típico, este ano leva em consideração as temperaturas e dos últimos 20 anos (INMET).

A cúpula é toda feita de concreto armado, formada por três cascas e pilares em uma solução estrutural complexa e sem precedentes. Sua estrutura apresenta diâmetro externo de 29,87 m e interno de 25,30 m. Possui uma área total de 2.456,00m² dividido por quatro níveis, sendo no primeiro e principal nível, o Plenário propriamente dito, com aproximadamente 683m² e pé-direito de 11,40 m, conforme mostra e a Figura 4.

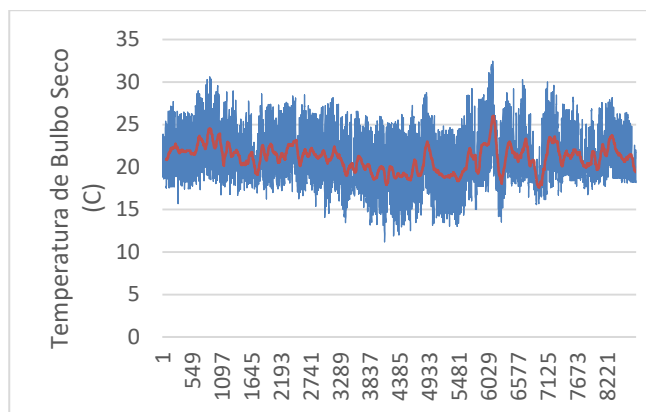


Figura 3. Temperatura de bulbo seco para um ano típico em Brasília

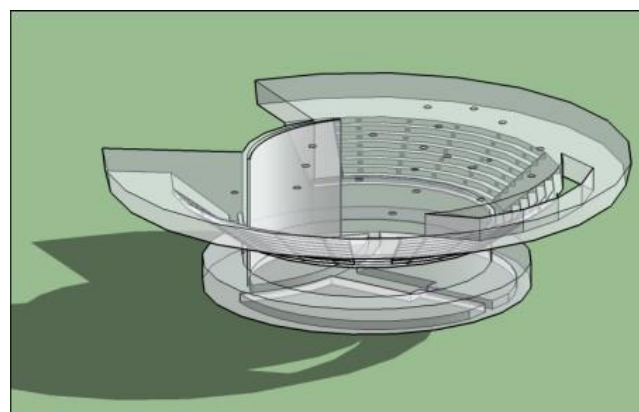


Figura 4. Vista isométrica Plenário Ulysses Guimarães (PRUDENTE, 2017)

O perfil de ocupação é o principal fator num cálculo de carga térmica no caso do Plenário, pois a sua principal atividade é realizada devido à ocupação existente. Por se tratar de um tipo de ambiente com ocupação muito variável, foi considerado um regime de operação que corresponde à realidade. Para efeitos de simulação, foi considerado um perfil de ocupação semanal típico que se repete durante todas as semanas do ano, de Janeiro até Dezembro. A Tabela 2 apresenta um perfil de ocupação com os horários e os respectivos percentuais relativos à ocupação máxima (450 pessoas) ao longo da semana.

Tabela 2. Perfil de ocupação semanal em %

Horário	Dom.	Seg.	Ter.	Qua.	Qui.	Sex.	Sab.
08:00	0	5	5	25	25	5	0
09:00	0	20	25	50	50	25	0
10:00	0	25	50	50	100	25	0
11:00	0	25	50	50	100	25	0
12:00	0	5	5	0	5	5	0
13:00	0	5	5	5	5	5	0
14:00	0	10	25	25	25	5	0
15:00	0	20	75	75	25	5	0
16:00	0	20	100	100	25	5	0
17:00	0	20	100	100	25	5	0
18:00	0	20	100	100	25	5	0
19:00	0	5	100	100	5	5	0
20:00	0	5	100	100	5	5	0
21:00	0	5	25	50	5	5	0
22:00	0	0	0	25	0	0	0

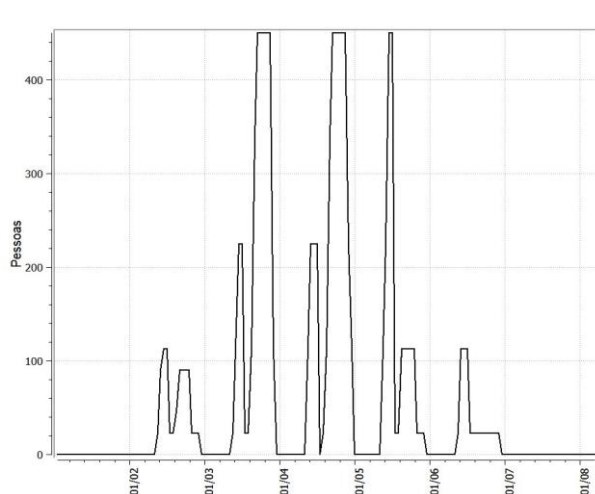


Figura 5. Perfil de ocupação semanal

MERCOFRIO 2018 - 11º CONGRESSO INTERNACIONAL DE AR CONDICIONADO, REFRIGERAÇÃO, AQUECIMENTO E VENTILAÇÃO

A climatização do Plenário é realizada através de uma central de água gelada (CAG), responsável por atender os edifícios Anexo I e Principal, onde se encontra o plenário. A CAG está localizada no subsolo, entre o Edifício Principal e o espelho d'água ao lado do edifício Anexo I, e é composta pelos equipamentos a seguir:

- 3 equipamentos de resfriamento de líquidos (chiller) com capacidade de 250 TR cada;
- 4 Torres de Resfriamento (TRA) com capacidade de 190 TR cada;
- 4 Bombas de Água de Condensação (BAC);
- 2 Bombas de Água Gelada Secundária Principal (BAG/SP) – climatização do Edifício Principal;
- 2 Bombas de Água Gelada Secundária Anexa (BAG/AS) – climatização do edifício Anexo I.

O perfil de carga térmica foi levantado de acordo com as informações relacionadas à envoltória do plenário, juntamente com os dados apresentados na Tabela 1 e com o perfil de ocupação apresentado na Tabela 2. Para o levantamento do perfil de carga térmica foram utilizados os *softwares* OpenStudio e EnergyPlus do departamento de energia dos Estados Unidos. O componente de carga térmica devido ao ar de renovação é calculado separadamente, uma vez que o valor da carga depende do uso ou não dos sistemas de recuperação de energia, de controle de vazão de ar externo e de free cooling.

A Figura 6 representa o perfil de carga térmica anual referente a geração interna e a envoltória.

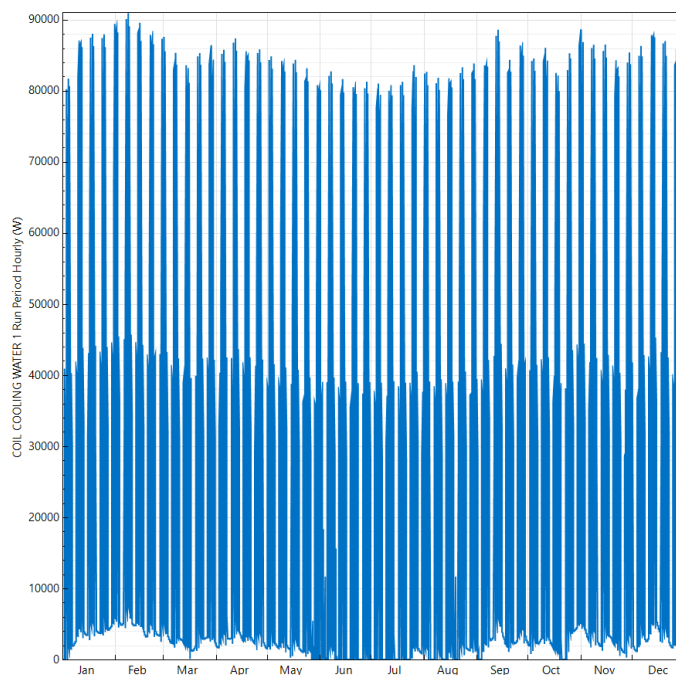


Figura 6. Variação de carga térmica total avaliada para cada hora de um ano típico

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram realizadas simulações em diferentes cenários de operação do ambiente adotado para estudo. A divisão dos cenários foi realizada com base na solução de projeto selecionada para cada situação, considerando o mesmo ambiente a ser condicionado, com o mesmo perfil de ocupação proposto durante um ano de operação.

3.1 Cenário 1: Solução convencional (atual)

O primeiro cenário consiste no modelo da atual situação na qual se encontra o sistema de climatização do plenário, ou seja, sem utilização de recursos como a vazão de ar exterior variável, de recuperação de energia e de free cooling. Este cenário será utilizado como base para meios de comparação com as demais soluções propostas, uma vez que os valores de vazão de ar de renovação se encontram no máximo.

A vazão de ar de renovação para ventilação é constante e igual à máxima vazão calculada de 1332 L/s, este valor é obtido através da norma ABNT NBR 16401-3 considerando o nível 1 de utilização para local legislativo – plenário. Esta taxa de renovação, juntamente com a taxa de infiltração, é responsável por grande parcela de carga térmica inserida ao ambiente. É considerando a ocupação de 100% de pessoas durante todo o período de utilização neste caso. A Figura 7 indica os valores de carga térmica total durante um ano.

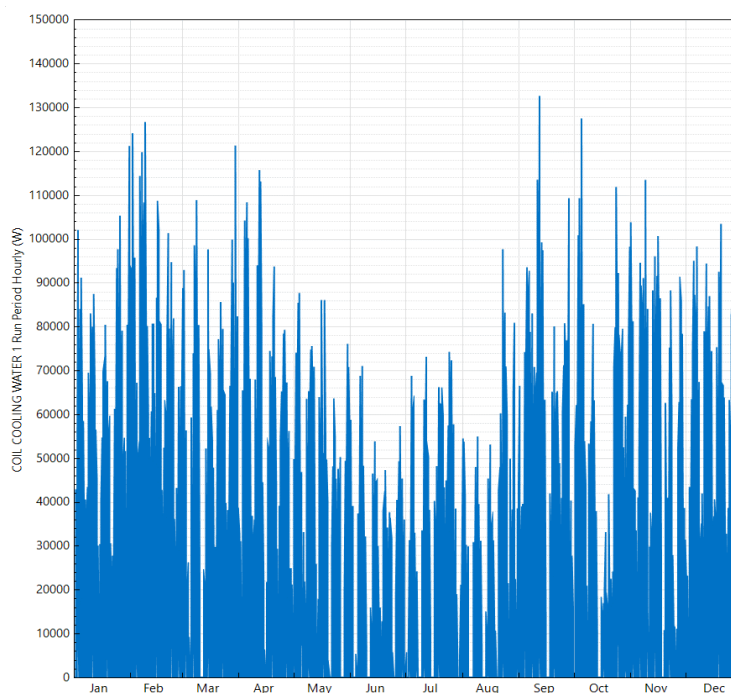


Figura 7. Variação carga térmica anual cenário 1

Pode-se perceber que o efeito da sazonalidade na carga térmica é bem influente, isso ocorre principalmente devido ao ar de renovação inserido. O consumo de energia elétrica anual do sistema de ar condicionado deste cenário é de aproximadamente 58.133 kWh, enquanto a carga térmica de pico é de 135 kW.

3.2 Cenário 2: Solução com controle de vazão de ar exterior

O segundo cenário consiste na utilização de dispositivo de controle de vazão de ar exterior. Nesta solução a taxa de ar de renovação insuflada no ambiente varia de acordo com a ocupação momentânea do local. Os valores de ar de renovação utilizados são os calculados segundo o cálculo de vazão eficaz associado ao número de ocupantes do ambiente.

a Figura 8 indica a variação da diferença dos valores de carga térmica entre os cenários 1 e 2 ao longo de um ano.

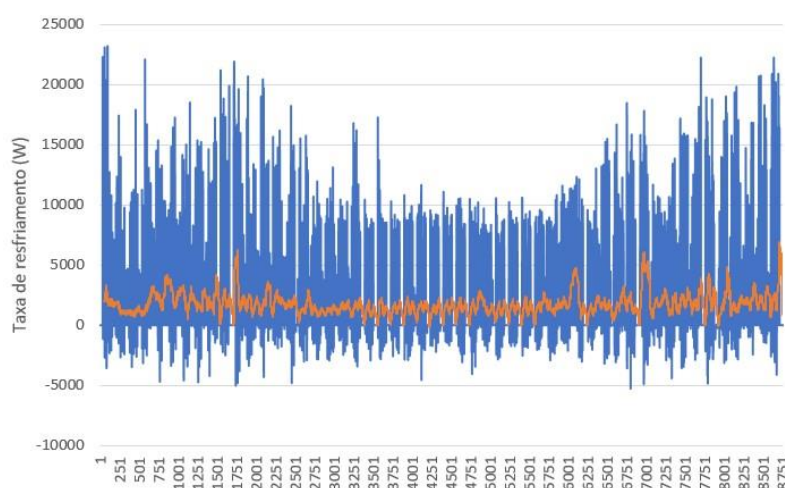


Figura 8. Diferença carga térmica anual entre cenário 1 e 2

É possível notar neste caso uma redução no consumo de energia elétrica anual considerável, visto que esta solução apresenta o consumo de 42.833 kWh, aproximadamente 9,11% de economia. A carga térmica de pico é de 133,5 kW representando uma redução de pouco mais de 1%. Com relação a este parâmetro não há grande alteração, isto se comprova, pois em casos máximos os dois cenários se comportam de forma semelhante.

Os valores negativos observados no gráfico representam instantes que a solução proposta pelo cenário 2 apresentou resultados piores que a solução convencional. Desta forma o ideal seria uma combinação para que seja utilizado o melhor de cada uma das soluções.

3.3 Cenário 3: Solução convencional com dispositivo ERV

O terceiro cenário consiste na utilização de dispositivo energy recovery ventilator. Nesta solução o dispositivo ERV será responsável pela transferência de calor entre o ar de renovação e o ar de exaustão. A taxa de ar de renovação insuflada no ambiente permanecerá constante durante o período ocupado do local. O terceiro cenário utiliza os mesmos parâmetros do primeiro, com adição do dispositivo ERV.

A Figura 9 indica a variação da diferença dos valores de carga térmica entre os cenários 1 e 2 ao longo de um ano.

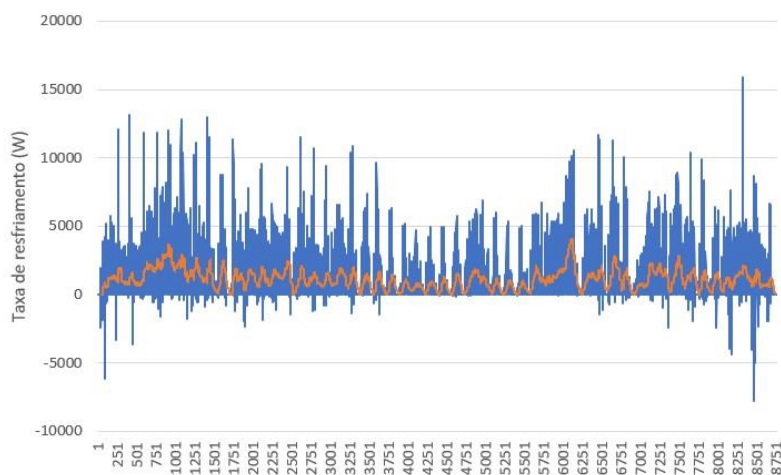


Figura 9. Diferença carga térmica anual entre cenário 1 e 3

Nota-se, portanto, uma redução na carga térmica de pico de 135 kW para 126,2 kW, o que representa uma redução percentual de aproximadamente 6,5%. Neste caso é possível notar uma redução da capacidade de resfriamento dos equipamentos do sistema de climatização. Com relação ao consumo energético anual, a solução proposta também apresentou uma redução, de 58.133 kWh para 56.333 kWh, o que representa uma redução percentual de aproximadamente 3,1%.

3.4 Cenário 4: Solução conjunta (DCV e ERV)

O quarto cenário consiste na utilização de ambos os recursos propostos, tanto de recuperação de energia como o de controle de vazão de ar exterior. Nesta solução a vazão de ar externo é variável, de acordo com a ocupação, como feito no segundo cenário, além disso, é adicionado o dispositivo ERV para a transferência de calor entre o ar externo a ser inserido no ambiente e o ar contaminado que será retirado do mesmo.

A Figura 10 indica a variação da diferença dos valores de carga térmica entre os cenários 1 e 4 ao longo de um ano.

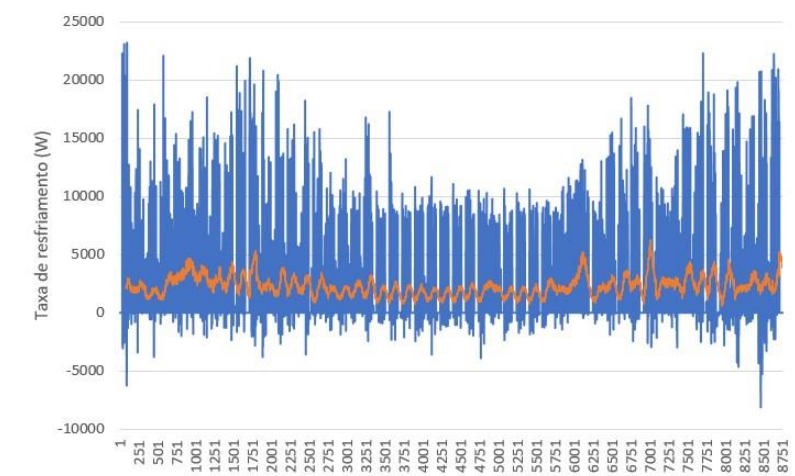


Figura 10. Diferença carga térmica anual entre cenário 1 e 4

É possível notar neste caso, assim como no cenário 3, uma redução na carga térmica de pico de 135 kW para 126,4 kW, o que representa uma redução percentual de aproximadamente 6,4%. Com relação ao consumo energético anual, a solução proposta também apresentou uma redução, com valor significativo assim como o cenário 2, de 58.133 kWh para 51.644 kWh, o que representa uma redução percentual de aproximadamente 11,2%.

3.5 Cenário 5: Solução com free cooling associado à vazão variável

O quinto cenário avaliado consiste na utilização de dispositivo de controle de vazão de ar exterior, assim como no cenário 2, em conjunto com um water-side economizer e um air-side economizer atuando para fornecer free cooling. Nesta solução o ar de renovação insuflado no ambiente, antes de ser resfriado pelo fan coil, é pré resfriado pela serpentina de free cooling caso as condições climáticas permitam. Adicionalmente a este processo, quando o ar externo estiver em condições de temperatura inferior ao ar interno, a vazão do mesmo é aumentada para máxima. Neste cenário, a serpentina de free cooling só é utilizada caso a temperatura da água do ciclo de condensação, ou seja, a água da torre de resfriamento, esteja a abaixo de 20 °C, para que esse sistema só entre em operação caso possa proporcionar o pré resfriamento, diminuindo assim o consumo do chiller.

A Figura 11 indica a variação da diferença dos valores de carga térmica entre os cenários 1 e 5 ao longo de um ano.

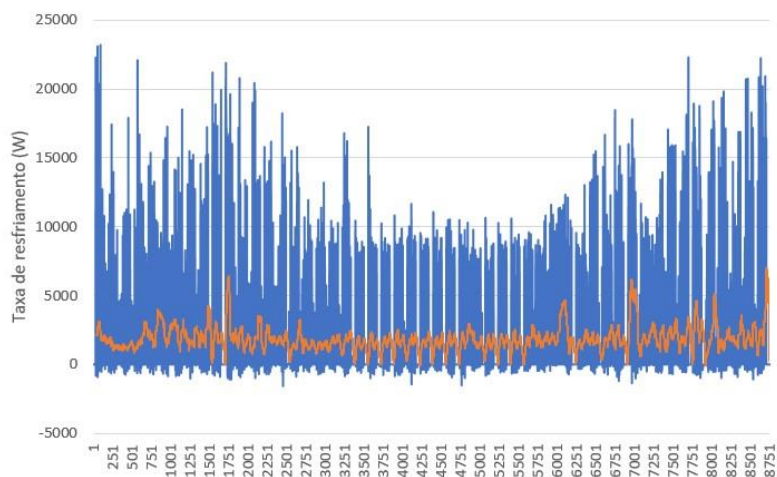


Figura 11. Diferença carga térmica anual entre cenário 1 e 5

É possível notar neste caso, assim como no cenário 3, que a carga térmica de pico não sofreu alteração, pois em condições de operação máxima ambos cenários atuam de forma semelhante. Com relação ao consumo energético anual, a solução proposta apresentou a maior redução entre todos os cenários avaliados, com valor significativo de 58.133 kWh para 46.350 kWh, o que representa uma redução percentual de aproximadamente 20%.

3.6 Comparação dos cenários avaliados

A partir dos resultados apresentados é possível realizar uma análise comparativa entre os cenários com o objetivo de verificar a economia de energia proporcionada pelos recursos apresentados.

Outra análise comparativa realizada é com relação às cargas térmica de pico de cada solução proposta. Esta avaliação permite reduzir a capacidade de resfriamento do sistema de climatização, o que pode implicar em trocas de equipamentos com capacidades distintas, proporcionando grande economia.

A Figura 12 apresenta os dados de consumo anual para cada cenário avaliado e a Figura 13 ilustra a carga térmica de pico das soluções propostas

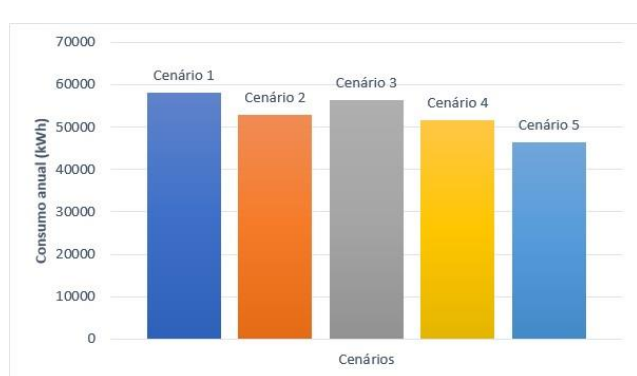


Figura 12. Consumo anual das soluções avaliadas

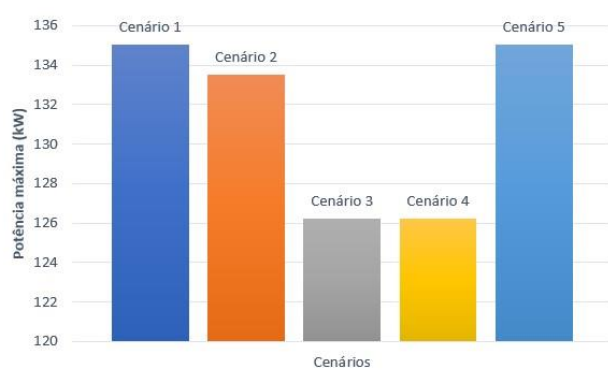


Figura 13. Carga térmica de pico das soluções avaliadas

Pelos resultados apresentados, é possível verificar que grande parcela da carga térmica do plenário é proveniente do ar de renovação, portanto, uma solução com dispositivo de controle de vazão de ar exterior é extremamente interessante para buscar uma maior eficiência energética. Juntamente a esse dispositivo, uma solução com free cooling também apresentou ótima economia de energia elétrica ao longo do ano, devido ao horário de ocupação do plenário que em algumas situações opera em condições climáticas externas favoráveis.

O dispositivo de recuperação de energia, entretanto, apresenta resultados favoráveis quanto à redução da capacidade de resfriamento do sistema de climatização, o que pode ser muito interessante, caso este esteja subdimensionado ou caso a carga térmica cresça e supere a capacidade instalada.

A Tabela 3 traz um resumo dos cenários avaliados com relação à carga térmica de pico e consumo de energia elétrica anual, juntamente com o valor correspondente à sua redução em relação ao cenário 1.

Tabela 3. Comparação de cenários

	Consumo anual de eletricidade (kWh)	Carga térmica de pico (kW)	Redução do consumo anual (%)	Redução carga térmica (%)
Cenário 1	58.133	135	-	-
Cenário 2	52.833	133,5	9,1	1,1
Cenário 3	56.333	126,2	3,1	6,5
Cenário 4	51.644	126,4	11,2	6,4
Cenário 5	46.350	135	20,3	0

4. Conclusões

Conclui-se que as estratégias de eficiência energética apresentadas possuem grande potencial econômico em sistemas de climatização e que parâmetros climáticos podem aumentar ainda mais as reduções exibidas. Para o estudo de caso realizado, percebemos que o potencial de economia de energia elétrica anual com o controle de vazão de ar exterior e free cooling são muito significativos, incentivando suas implementações. Entretanto, o dispositivo de recuperação de energia não apresentou vantagens significativas que justifiquem sua aquisição, isto se dá pelas condições climáticas do ambiente, bem como a vazão de ar exterior necessário.

5. REFERÊNCIAS

- ABNT. 2008 – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 16401-3: Instalações de ar condicionado – sistemas centrais e unitários, parte 3: qualidade do ar interior.
- ASHRAE. 2010. Energy standard for building except low-rise residential buildings. ANSI/ASHRAE/IESNA *Standard* 90.1-2010.
- ASHRAE. 2010. Thermal environmental conditions for human occupancy. ANSI/ASHRAE *Standard* 55-2010.
- ASHRAE. 2010. Ventilation for acceptable indoor air quality. ANSI/ASHRAE *Standard* 62.1-2010.
- ASHRAE. 2011. Standard method of test for the evaluation of building energy analysis computer programs. ANSI/ASHRAE *Standard* 140-2011.
- BRASIL. 2017. Congresso Nacional. Câmara dos Deputados. Plantas Arquitetônicas do Plenário Ulysses Guimarães. Coordenação de Projetos de Arquitetura.
- EnergyPlus. 2012. *Engineering reference*. Available at <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/pdfs/engineeringreference.pdf>.
- Gabel, S.D.; Janssen, J.E.; Christoffel S.E. 1986. Carbon Dioxide-Based Ventilation Control System Demonstration. U. S. Department of Energy.
- Luis Perez-Lombard; Jose Ortiz; Ismael R. Maestre. 2011. The map of energy flow in HVAC systems.
- Prudente. 2017. Estudo de viabilidade dos sistemas de renovação de ar variável e recuperação de energia em unidades de ar condicionado.
- Ular Palmiste and Hendrik Voll. 2016. Free cooling potential of an airside economizer in Estonia.
- Valverde. 2016. Modelagem e simulação do impacto da vazão de ar exterior variável e recuperação de energia sobre o desempenho de sistemas de ar condicionado.

CASE STUDY OF ENERGY EFFICIENCY OF VARIOUS AIR RENEWAL SYSTEMS, ENERGY RECOVERY AND FREE COOLING

Abstract. This work describes a case study on energy efficiency and indoor air quality control (IAQ) of air conditioning system with variable outdoor airflow (DCV), energy recovery (ERV) and free cooling technologies in plenary Ulysses Guimarães, Brasília DF. A computer simulation with the help of the OpenStudio and Energyplus software on the air conditioning system under study was performed to analyze the potential savings in the use of resources such as ERV, DCV and free cooling. For this, local climatic conditions, architecture characteristics of the plenary, as well as the efficiencies of the equipment used were considered. The results showed that the combination of the technologies evaluated

was able to provide savings up to 20% in the operating costs of the air conditioning system in environments with variable occupancy profiles.

Keywords: *Energy efficiency, Energy recovery, Variable air flow rate, EnergyPlus, Free cooling.*