

Ventilação cruzada e noturna como estratégia de resfriamento passivo em edifício institucional no contexto climático de Brasília/DF

Cross-ventilation and night ventilation as a passive cooling strategy in institutional building in the climatic context of Brasília/DF

Ayana Dantas de Medeiros

Universidade de Brasília, mestranda em Arquitetura e Urbanismo (PPG FAU UnB).
ayana@aluno.unb.br

Guilherme de Sousa Fernandes

Universidade de Brasília, mestrando em Arquitetura e Urbanismo (PPG FAU UnB).
guilherme.sousa.fernandes@gmail.com

Rhaiana Bandeira Santana

Universidade de Brasília, mestranda em Arquitetura e Urbanismo (PPG FAU UnB).
rhaiana.bs@gmail.com

Thiago Augusto Tavares

Universidade de Brasília, mestrando em Arquitetura e Urbanismo (PPG FAU UnB).
yobel.tg@gmail.com

Cláudia Naves David Amorim

Universidade de Brasília, doutora pela Technologie Energetiche ed Ambientali, Università degli Studi di Roma La Sapienza.
clamorim@unb.br

Resumo

Esse estudo investiga a experiência no ambiente construído quanto a estratégias de ventilação natural, incluindo ventilação cruzada e resfriamento noturno de massa térmica. Partindo das análises realizadas através da disciplina de Projeto Ambiental Integrado da Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura da Universidade de Brasília (PPG FAU-UnB) foi proposto o *retrofit* em um edifício institucional localizado no Campus da Universidade de Brasília, com o intuito de transformá-lo em um edifício de Balanço Energético Nulo (Net-ZEB). O objetivo do artigo é apresentar as soluções de ventilação, em especial à ventilação de massa térmica noturna, para o contexto climático de Brasília-DF. Como método, foi levantado bibliografia específica, realizada análise bioclimática, cálculos matemáticos manuais e o estudo de caso de *retrofit* em um edifício não residencial no Campus Darcy Ribeiro. Como resultado, foi verificada a viabilidade de se utilizar o resfriamento noturno como estratégia passiva para ventilação passiva, tendo sido entendido que é possível alcançar dados satisfatórios que justificam seu uso no contexto climático de Brasília.

Palavras-chave: Ventilação noturna; Resfriamento da massa térmica; Ventilação natural; Ventilação cruzada; Retrofit.

Abstract

This is an example of research into the experience in the environment built on a natural ventilation strategy, including cross-ventilation and night-time thermal mass cooling. Post-graduation in Computer Engineering at the University of Brasília (PPG FAU-UnB) was implemented in an institutional environment located on the campus of the University of Brasília, with the purpose of transformation. It is in a building of Zero Energy Building (Net-ZEB). The article is presented as ventilation solutions, especially for the night dynamics, for the climatic context of Brasília-DF. As a method, a bibliographic survey of meaning, a bioclimatic analysis, mathematical and manual calculations and the case study of retrofit in a non - residential building in the Darcy Ribeiro Campus were used. As a result, the feasibility of using night-time cooling as a passive strategy for passive ventilation was analyzed, and the task of obtaining satisfactory data justifying its use in the climatic context of Brasília was analyzed.

Keywords: *Night ventilation; Thermal mass cooling, Natural ventilation, Cross ventilation, Retrofitting.*

1. INTRODUÇÃO

Edificações Net-ZEB são aquelas que alcançam uma performance com balanço energético nulo ao longo de um ano. Desta forma, significa que produzem toda a energia que consomem neste período (UNIÃO EUROPEIA, 2010). Este tipo de ideia deve observar alguns preceitos importantes como a redução do consumo energético, a otimização do conforto humano e a produção de energia na própria edificação sem, contudo, diminuir a qualidade de vida.

Neste sentido, Athienitis e O'Brien (2015) destacam a necessidade em garantir que algumas estratégias de economia de energia sejam incorporadas ao estudo preliminar ou, no caso do *retrofit*, alterações na edificação com objetivo de proporcionar conforto térmico e luminoso, além de ponderações sobre o impacto ambiental do edifício em sua fase de operação. Baseados em integração de estratégias passivas, principalmente voltadas para iluminação e ventilação natural, além de uma envoltória construtiva que seja de alto desempenho, deve-se definir modos para uso de tecnologias de energia renovável. Hensen, Lamberts (2011) e Gonçalves e Duarte, (2006) celebram que o projeto ou o estudo de uma edificação com vistas ao *retrofit* deve concentrar-se na redução de demanda energética através de respostas às condições climáticas por meio da tomada de decisões apropriadas.

Fazem parte das deliberações iniciais de um projeto o entendimento de sua inserção no clima e/ou microclima local, através da avaliação quanto à implantação, orientação com relação à insolação e ventos e relações entre áreas cobertas, expostas e envidraçadas, por exemplo. Todos esses propósitos, chamados de variáveis de projeto, devem ser encarados como um todo unificado e devem ser utilizados como ferramentas para solução de problemas (KEELER, BURKE, 2010). A utilização das técnicas passivas de projeto pode concomitantemente oferecer conforto e reduzir a necessidade de calefação ou de refrigeração de uma arquitetura.

Assim, é importante trabalhar com conceito de conforto adaptativo e considerar que em regiões de clima quente seco, como em Brasília/DF, o clima ameno possibilita condições de utilização de estratégias bioclimáticas de projeto que permitem menor utilização de condicionamento de ar, onde o usuário interfere no ambiente no sentido de restabelecer as condições de conforto com medidas como a troca de indumentária, o ato de abrir ou fechar janelas e ao acionar ventiladores. (GONÇALVES, DUARTE, 2006).

No que se trata de ventilação natural é possível compreendê-la como algo que vem ao encontro com a expectativa do usuário, que prefere condições mais flexíveis de interferência em suas relações de bem-estar (muitos são alérgicos a situações de utilização de condicionamento de ar e alguns simplesmente não se adaptam a situações mais frias que o clima do local). Como vantagens na utilização da ventilação natural há possibilidade de manter a qualidade do ar nos ambientes internos (KEELER, BURKE, 2010) o que, assim sendo, acarreta na redução no consumo energético. Isso torna-se significativo quando Lamberts, Dutra e Pereira (1988) elucidam que o condicionamento de ar representa cerca de 46% do total de consumo de edifício na tipologia não residencial.

Entretanto, existe uma complexidade envolvida na utilização da ventilação natural em ambientes institucionais, públicos e comerciais. Ela esbarra em problemas relacionados a fatores internos e externos acarretados pela construção, como: diferentes tipos de usuários, tipos de clima, pluviosidade, questões relacionadas à privacidade e, ainda, a própria composição da edificação, que pode não viabilizar soluções efetivas.

Com isso, fica reforçada a importância de buscar estratégias para o resfriamento passivo de edificações e uma possibilidade se dá através da ventilação noturna. Por essa razão se desenvolve essa pesquisa, que foi elaborada no âmbito da disciplina de Projeto Ambiental Integrado, no Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, sob orientação de professores de diversas áreas, sendo parte integrante de uma abordagem maior que visa estudar Net-ZEBs no contexto climático de Brasília/DF. No recorte aqui apresentado, o objetivo é discutir conceitualmente o uso do resfriamento noturno em edificações não-residenciais nesse contexto bioclimático e sua aplicabilidade no estudo de caso do *retrofit*.

2. REVISÃO TEÓRICA

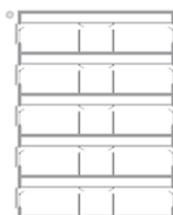
Nesse capítulo serão abordados alguns conceitos sobre ventilação, bem como a contextualização do clima de Brasília/DF.

2.1 Ventilação Cruzada, Noturna e Resfriamento De Massa Térmica

A ventilação cruzada deve ser aproveitada para incrementar o conforto térmico dos usuários dos ambientes. Ao favorecer as trocas de calor por convecção e evaporação, contribui para o conforto térmico dos usuários e minimiza a utilização de dispositivos mecânicos de refrigeração e, conseqüentemente, diminui o consumo de energia nesses espaços (BASTIDE et al, 2006). Por outro lado, o adequado aproveitamento da ventilação cruzada contribui para a obtenção da flexibilidade requerida pelos usuários (NICOL, 1995), (GHIAUS, ALLARD, 2006), (GRATIA, BRUYÈRE, DE HERDE, 2004).

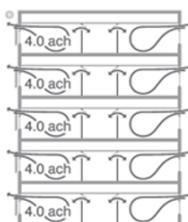
Estudos de Gratia, Bruyère e De Herde (2004) indicam o potencial de aproveitamento da ventilação cruzada em edifícios de escritórios. A comparação realizada entre modelos computacionais de ambientes que não utilizam ventilação, com ambientes que se utilizam de mecanismos de ventilação cruzada e ainda aqueles que aplicam o tipo *single-sided* (unilateral), sugere o ganho na qualidade do fluxo de ar no ambiente, conforme demonstrado na Figura 01.

a) Sem ventilação natural



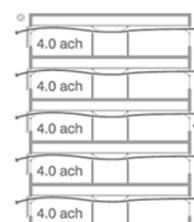
Carga de resfriamento: 685 kWh

b) Ventilação natural unilateral



Carga de resfriamento: 474 kWh

c) Ventilação Cruzada



Carga de resfriamento: 608,4 kWh

Figura 1 - Comparação entre edifícios de escritório sem o aproveitamento da ventilação natural (a) e onde esta estratégia foi aplicada (b) single-sided (c) ventilação cruzada. Fonte: GRATIA, BRUYÈRE e DE HERDE, 2004.

Para o aproveitamento da ventilação cruzada, o projeto da edificação deve primar, principalmente, pela permeabilidade da passagem dos ventos. Especial atenção deve ser destinada ao projeto das aberturas, no intuito de otimizar o insuflamento e o direcionamento do fluxo de ar no interior do ambiente, além de minimizar o impacto na velocidade do vento (GHIAUS, ALLARD, 2006). Desta forma, o projeto arquitetônico precisa estar atento ao tamanho, forma, localização e tipologia das esquadrias, somados aos mecanismos de direcionamento e controle do fluxo de ar pelo usuário e as aberturas de saída de ar.

A ventilação natural ainda pode resfriar o edifício em si, retirando a carga de calor absorvido durante o dia pela exposição à insolação, assim como os ganhos de calor decorrentes da presença de usuários, equipamentos e iluminação artificial.

Santamouris (2007) faz o levantamento de que nas regiões climáticas com cargas moderadas de aquecimento e resfriamento, as técnicas de ventilação são projetadas para fornecer conforto térmico durante o verão. As estratégias de ventilação natural podem ser capazes de satisfazer exigências de cargas de resfriamento para uma gama de edificações com ganhos internos moderados de aquecimento. A ventilação pode fornecer resfriamento durante o dia, mas em muitos edifícios é também usada durante a noite para aumentar o resfriamento potencial. Esta estratégia é denominada “*ventilação noturna*” e já é aplicado em alguns exemplares da arquitetura. Esse recurso é favorável aos climas quentes e secos, onde há grande amplitude térmica (variação de temperatura entre as horas diurnas e noturnas ao longo do dia).

A ventilação noturna se refere aos casos em que uma edificação de elevada capacidade térmica é ventilada somente à noite, tendo suas aberturas fechadas durante o dia. Dessa maneira, o edifício é resfriado por convecção durante o período noturno, tornando-se capaz de absorver a penetração do calor no edifício ao longo do dia somente com uma pequena elevação da temperatura interna. Para edifícios de elevada inércia térmica, bem isolados, sombreados, fechados durante o dia e ventilados à noite é possível uma queda no pico de temperatura interna abaixo do pico externo em torno de 45-55%, segundo Givoni (1994).

A ventilação noturna pode ser obtida com o uso de insufladores e exaustores de ar, no caso de não haver presença de ventos no período noturno (GEROS et al, 2005). Tal prática visa resfriar o ambiente interno durante a noite, removendo a carga térmica acumulada, proporcionando uma menor necessidade de resfriamento no início da manhã. Pode ser aproveitada tanto em edifícios que utilizam a ventilação passiva ou ativa como estratégia de condicionamento.

Geros et al (2005) elabora estudos que apontam uma economia de 90% no consumo de energia de ambientes climatizados com o aproveitamento da ventilação noturna ao aplicar a técnica em 10 cidades gregas. Tal incremento, no entanto, depende em grande parte, das condições do entorno urbano próximo, segundo dados dos mesmos autores. A temperatura no interior dos espaços pesquisados diminui em torno de 4°C, diminuindo a utilização de equipamentos de ar-condicionado no período da manhã.

Para Gratia, Bruyère e De Herde (2004), o aproveitamento da ventilação noturna contribui significativamente para o resfriamento dos ambientes. A estratégia é otimizada quando utilizada como ventilação cruzada, aumentando o potencial de resfriamento. A utilização da ventilação noturna, por outro lado, contribui para minimizar a necessidade de resfriamento nos ambientes e, conseqüentemente, para a diminuição dos gastos com energia. Esses autores compararam a demanda de resfriamento em ambientes com uso do ar condicionado, ventilação unilateral, ventilação cruzada, ventilação noturna unilateral e ventilação noturna cruzada. O estudo sugere o potencial de diminuição de até 38% para ambientes onde a ventilação noturna cruzada é aplicada em relação ao modelo que utiliza ar-condicionado, considerado como modelo de referência, na demanda de resfriamento.

Quando a ventilação noturna unilateral é utilizada, este valor a diminuição é da ordem de 41%. Entretanto, os autores apontam a importância da configuração das aberturas de entrada e saída do ar utilizada nos ambientes. Tal item deve ser, portanto, considerado pelos projetistas, podendo contribuir negativamente para o aproveitamento da estratégia escolhida (GRATIA, BRUYÈRE e DE HERDE, 2004).

Tanto Gerol et al (2005) quanto Gratia, Bruyère e De Herde (2004) entendem que as variáveis para utilização da ventilação noturna em geral são: diferença de temperatura entre o ambiente interno e externo; conhecimento do comportamento do vento local no que concerne à direção, frequência, velocidade do vento e ocorrência de calmarias; e levantamento do entorno imediato. A esses itens são somados o projeto de aberturas adequado para o insuflamento de ar no interior do ambiente e a consideração da estratégia na fase inicial de projeto.

2.2 Caracterização do clima de Brasília/DF

A cidade de Brasília está localizada na região Centro-Oeste do Brasil e possui clima Tropical de Altitude, caracterizado por chuvas no verão e geadas no inverno, devido a massa polar atlântica. A latitude é de 15°52' Sul, longitude 47°50' Oeste e a altitude de 1.100m. A temperatura de bulbo seco média das mínimas é de 15,4°C e a média das máximas de 27°C. A umidade relativa média anual é de 73%.

A predominância de ventos em Brasília é Leste, seguido de Nordeste e Noroeste, com velocidade média anual de 1,6 m/s a 3,1 m/s. No entanto, também apresenta direção de ventilação Norte. Nos períodos quentes, a utilização de meios que viabilizem a ventilação natural é a estratégia bioclimática mais indicada. Nos períodos frios, a massa térmica para aquecimento e o aquecimento solar passivo são indicados em 40% das horas do ano.

A amplitude térmica em Brasília é um fator preponderante. Observa-se que nos meses de agosto e setembro a amplitude térmica é bastante elevada (acima de 13°C), tendo temperaturas elevadas durante o dia e baixas durante a noite.

Segundo a carta bioclimática, Brasília é a cidade mais confortável dentre as estudadas pela equipe do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina. As estratégias projetuais recomendadas em ordem de importância são:

massa térmica, aquecimento solar, ventilação natural, aquecimento solar passivo e aquecimento artificial em casos isolados (PROJETEEE, 2018).

A NBR 15220-3 recomenda aos projetistas da zona bioclimática 04, do qual Brasília faz parte, que adotem os seguintes procedimentos projetuais: ventilação seletiva nos períodos quentes; aberturas médias e sombreadas com área e entre 15% a 25% da área do piso; paredes pesadas incluindo as vedações internas com transmitância térmica menor ou igual a 2,2 W/m²k, atraso térmico maior ou igual a 6,5 horas; fator solar menor ou igual a 3,5%; coberturas leves e isoladas com transmitância térmica menor ou igual a 2,0 W/m².K, atraso térmico menor ou igual a 3,3 horas e fator Solar menor ou igual a 6,5%; e resfriamento evaporativo e massa térmica para resfriamento. A ventilação por intermédio do resfriamento noturno englobaria duas soluções propostas na NBR 15220-3: ventilação seletiva e resfriamento da massa térmica da edificação em períodos quentes.

3. MÉTODO

O método consiste na revisão teórica supracitada relativa aos aspectos climáticos de Brasília/DF e as estratégias de ventilação noturna, uso de cálculos simplificados e verificação por intermédio de estudo de caso.

3.1 Escolha do estudo de caso

Como estudo de caso, o edifício escolhido foi o Centro de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Universidade de Brasília (CDT-UnB), composto por diversos usos (institucional e administrativo) dentro do Parque Científico e Tecnológico da Universidade no campus Darcy Ribeiro. Seu padrão de ocupação se caracteriza pela ocupação em horário comercial estendido, entre 07:30 e 19:30, conforme verificado através de levantamento *in loco*.

A edificação compreende uma área de aproximadamente 4.000 m² e sua composição se desenvolveu com a construção do edifício em 02 etapas: a primeira delas abriga hoje empresas incubadas e o setor administrativo do prédio, e a segunda se refere a uma ampliação para sediar um setor institucional da UnB (Decanato de Pesquisa e Extensão).

Sua forma se dá em “u” (ver Figura 3) com uma das pontas alongadas e tendo dois pavimentos (térreo e superior). Sua implantação é longitudinal no sentido Leste e Oeste e devido à forma, existe um pátio interno que funciona como jardim, contribuindo com a estratégia bioclimática de resfriamento evaporativo. A altura da edificação é de 7,60 metros, sendo que a caixa d’água é o volume mais alto, com 10,50 metros.

O CDT possui boas estratégias passivas já aplicadas: boa implantação (orientação do edifício em relação ao norte), pátio interno que promove o resfriamento, brises horizontais e aplicação de cores claras. Sua implantação favorece a ventilação, uma vez que sua maior fachada está voltada para a direção dos ventos predominantes havendo possibilidade de permitir permeabilidade no edifício através do jogo de esquadrias.

Para os ambientes tipo *célula* (boa parte da edificação) há dificuldades na ventilação cruzada devido aos corredores existentes que não possibilitam aberturas. Isso só aconteceria se as portas de cada sala/escritório permanecessem abertas, ou se houvesse aberturas voltadas para o corredor.

3.2. Condições de ventilação

O modo como o vento circula pelo edifício através do direcionamento de ar e a diferença de pressão pode ser observado na Figura 2.

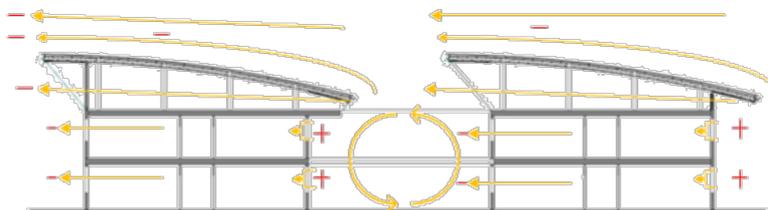


Figura 2 - Fluxo do vento. Fonte: Autores.

Em termos de variáveis quantitativas relacionadas ao comportamento dos ventos na edificação, foi utilizado um método simplificado de cálculo da ASHRAE, a fim de obter dados de fluxo de ar, tendo em vista a perspectiva de uma abertura de entrada e uma de saída. A equação empregada foi:

$$Q = x * Ae * Var * \cos\theta$$

Sendo:

Q = fluxo de ar ($m^3/hora$);

x = valor variável, dependendo da razão entre área de saída e área de entrada;

Ae = área de entrada (m^2);

Var = velocidade do ar ($m/hora$);

$\cos\theta$ = cosseno do ângulo que o vento faz com a fachada.

Como a direção dos ventos em Brasília é também oriunda do Norte e o prédio é orientado nesse sentido, o ângulo da direção do vento adotado é sempre igual a 0. Para determinação do coeficiente x (variável entre a área de saída e de entrada de ar) foi utilizada a relação de FREIXANET e VIQUEIRA 2004. Para obtenção de Var (velocidade do ar) se usou a seguinte fórmula:

$$Var = Vm * k * z^a$$

Sendo:

Vm = velocidade média do vento na estação meteorológica (m/s);

z = altura da abertura (m);

k, a = coeficiente de rugosidade do terreno.

Vm (velocidade média dos ventos) foi adotado como 2,56 m/s, valor derivado do arquivo climático de Brasília, e adotou-se uma redução de velocidade de 40% referente ao deslocamento de ar de um cômodo para outro, de acordo com Bittencourt e Cândido (2006). Para avaliar a melhor ventilação do edifício optou-se por fazer os cálculos considerando as janelas e portas totalmente abertas. O valor de z (altura da abertura) foi considerado a partir do valor igual a metade do pé direito do edifício, sendo: 1,425m no primeiro andar e 4,225m no segundo. k e a (coeficientes de rugosidade do terreno) foram adotados a partir dos parâmetros de Bittencourt e Cândido (2006) e para esse estudo de caso se utilizou os valores referentes a campos com obstáculos esparsos em relação ao vento.

De posse desses dados, foi dado início aos cálculos de fluxo e renovações de ar para os ambientes. O cálculo de renovação de ar é o fluxo de ar dividido pelo volume do ambiente em análise. Para avaliar a eficiência da ventilação como conforto para o usuário, foram adotados os seguintes parâmetros: ventilação mínima (saúde, redução de odores, controle de umidade), onde o índice é de 01 a 02 renovações por hora; ventilação estrutural ou seletiva (para refrescar ou aquecer o interior utilizando a diferença de temperatura externa e interna), onde o índice é de 10 a 20 renovações por hora; e ventilação cruzada ou sensível (conforto térmico em nível do corpo do usuário, favorecendo a evaporação da transpiração), onde o índice é de 100 a 200 renovações de ar por hora.

Para método de cálculo, foram escolhidas situações próprias do prédio. A escolha dos ambientes para cálculo no pavimento térreo e superior está representado na Figura 3.

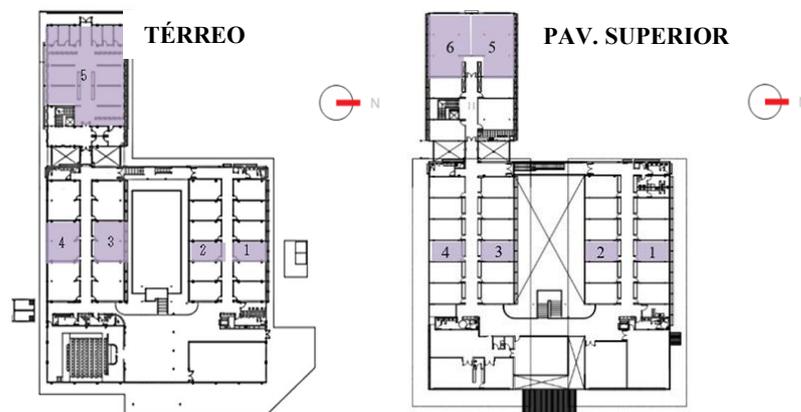


Figura 3 - Ambientes escolhidos para cálculo de ventilação natural. Fonte: Autores.

No térreo, foi percebido que apenas o ambiente 5 possui ventilação suficiente para manutenção de conforto (mais de 100 renovações de ar por hora). Isso ocorre devido ao grande número de janelas existentes nesse ambiente. O problema encontrado nas salas 3 e 4 está relacionado à saída de ar (trata-se de um ambiente do tipo *célula*, ou seja, conjulgado que divide uma única opção de saída - a porta).

Já no pavimento superior, a fachada Norte consegue ter uma ventilação de conforto, mas o mesmo não ocorre com as outras salas que, devido a perda de velocidade do vento, encontram-se prejudicadas. Nos ambientes 5 e 6 ocorre que um comportamento de circulação de ar semelhante ao discorrido nos ambientes 3 e 4 do térreo. Logo, as áreas de saída de ar se mostram zonas de conflito na relação da manutenção da ventilação do edifício como um todo.

3.3 Resfriamento da massa térmica

Para o resfriamento de massa térmica por intermédio da ventilação é necessário que a edificação possua elevada inércia térmica. De forma a proporcionar uma diminuição das amplitudes térmicas internas e um atraso térmico no fluxo de calor devido a sua alta capacidade de armazenar calor, fazendo com que o pico de temperatura interna apresente uma defasagem e um amortecimento em relação ao exterior. Para o bom funcionamento dessa estratégia é necessário que a edificação apresente materiais mais densos e de elevada capacidade térmica. O concreto e a alvenaria cerâmica são os materiais que apresentam capacidade térmica elevada e são os componentes de estrutura e vedação desse estudo de caso.

Optou-se por utilizar o método de cálculo apresentado por Grosso (1997) para avaliar a eficiência da ventilação noturna para o *retrofit* do CDT. Nesse método, os dados iniciais necessários são a inércia térmica do edifício, a temperatura máxima e a amplitude térmica. Para o caso do edifício do CDT, a inércia térmica foi estimada como sendo média, devido a espessura das lajes existentes (de 10 cm). Os dados de temperatura foram retirados do PROJETEE e se referem ao mês de setembro, mês mais quente na capital federal. São os valores: temperatura máxima igual a 29,2°C; amplitude térmica: 12,1°C. Essa variação térmica é capaz de gerar uma temperatura interna mínima de 19,5°C.

Esses dados servem para estimar o quanto de calor a estrutura consegue acumular ao longo do dia. Conforme o método de Grosso (1997), foi encontrado que em Brasília esse calor acumulado seria de aproximadamente 283 W/m².dia. Desse modo, calculou-se que o calor interno gerado ao longo de um dia de funcionamento do CDT (7:30 às 19:30) é de 207 W/m² dia, o que é menor que o acumulado e torna a ventilação noturna viável. Na sequência é avaliado quanto desse calor acumulado pode ser retirado na hora de maior diferença de temperatura, Figura 4. Estimando através do gráfico o percentual de remoção na melhor hora (Grosso, 1997) foi entendido que esse índice é de 10%, o que para o caso em questão é 28,3W/m².

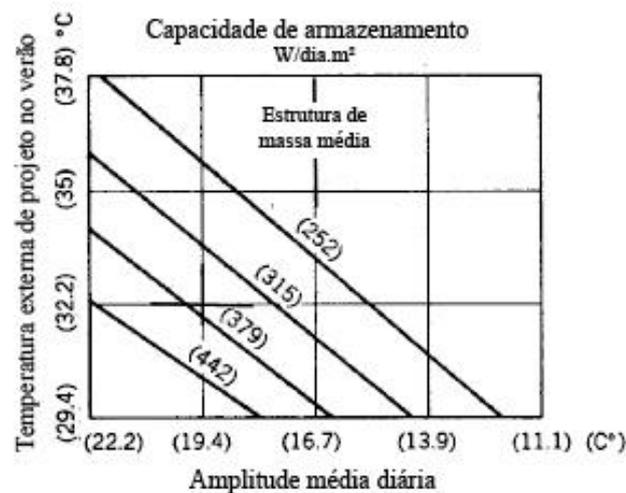


Figura 4 - Capacidade de acúmulo térmico em W/dia.m². Fonte: GROSSO, M. (1997).

Por fim, para o cálculo da vazão de vento necessário para retirar essa quantidade de calor é preciso da diferença de temperatura máxima. Foi encontrado o valor de de 5,6°C.

Como pode ser observado, todos os valores dependem das condições climáticas locais, logo todos os edifícios de média inércia térmica em Brasília/DF absorverão a mesma quantidade de calor por metro quadrado. Assim, terão a mesma remoção de calor e a mesma diferença de temperatura. O que irá diferenciar as edificações será o fluxo de vento necessário para a remoção desse calor, que pode ser obtido através da seguinte fórmula:

$$Q = q/(1,2*\Delta T)$$

Sendo:

$$Q = \text{fluxo de ar em L/s}$$

$$q = \text{calor sensível em W}$$

$$\Delta T = \text{diferença de temperatura em } ^\circ\text{C}$$

4. RESULTADOS

Os resultados dos cálculos simplificados e das avaliações de ventilação noturna serão abordados nas sessões seguintes.

4.1 Otimização da Ventilação Cruzada

A análise das condições atuais do edifício confirma que ele está bem orientado em termos de beneficiamento da ventilação natural, extraíndo um bom potencial dos ventos oriundos do Norte. Contudo, percebe-se que a fachada Sul não recebe direcionamento de aproveitamento dessa condicionante e conta apenas com a diferença de pressão do vento para resfriamento, o que faz com que ela receba índices de ventilação bem inferiores. A região interna do CDT está em melhor condição de uso, já que há possibilidade de receber ventos vindos do Leste (predominante) e, ainda, devido ao jogo de volumes que beneficia a circulação de ar nesse espaço.

Realizando cálculos de renovação de ar, para o caso do CDT o fluxo necessário seria gira em torno de 6500 m³/h. A decisão projetual para promover esse índice foi a substituição das janelas das fachadas atuais (de correr, simples, com abertura de 50%) por janelas tipo veneziana. Essa veneziana tem 19 cm de altura ao longo de todo o comprimento da janela (3,96 m) e se repete ao longo de toda a edificação. As esquadrias foram redimensionadas para se atingir o máximo potencial de ventilação. Com as novas aberturas, os ambientes tiveram o fluxo de ar recalculados e os resultados apontam que há melhorias significativas tanto no térreo quando no pavimento superior. Isso se deve ao fato de que esses são ambientes células e contam apenas com uma porta. Então, com a nova configuração, há um aumento da área de entrada de ar. Contudo, não foi solucionado um aumento da saída, permanecendo em estagnação dentro dessas salas e perdendo bastante velocidade. A proposta para este tipo de esquadria teve a intenção de melhorar também a ventilação cruzada, de forma que além da veneziana no alto da janela, fosse possível obter uma abertura de 100% da área para ventilação, por tratar-se do tipo guilhotina.

Tendo verificado o potencial de aumento das janelas, agora foi pensado em permitir o fluxo e a troca de ar, através da instalação de aberturas sobre a porta para permitir a ventilação cruzada, garantindo ainda condições de privacidade ao usuário (bandeiras). Essa abertura sobre a porta é de 70 cm e se estende por toda largura da sala. Essa nova situação foi recalculada e os resultados permitem entender que ao aplicar venezianas sobre as portas, tem-se grandes aumentos nas renovações de ar dos ambientes, inclusive nos ambientes 3 e 4 do primeiro andar, que praticamente dobram as renovações, como nos ambientes 5 e 6 do segundo andar.

4.2 Ventilação noturna e resfriamento de massa térmica

Para a ventilação noturna foi pensado o uso de venezianas sobre as janelas, a fim de garantir a fluidez dos ventos entre o forro e a laje e, assim, resfriá-la. Calculando o fluxo de ar para a abertura prevista para ventilação noturna é possível calcular que obtém-se o fluxo de 6.749,18 m³/h, que certifica a validade da estratégia de resfriamento de massa térmica. Por meio desses cálculos é aferido, ainda, que uma abertura da veneziana de 19 centímetros está de acordo com o necessário para se atingir o máximo potencial da ventilação noturna.

4.3 Automação e controle de processos

Essa situação foi criada para se verificar a possibilidade de automatizar as situações anteriores e com isso aumentar a eficiência dessas alternativas. Entre as possibilidades de

automação estão venezianas que se fecham quando o ar condicionado for acionado garantindo assim, máxima eficiência. Outra possibilidade seria a automação da ventilação noturna, sendo acionada e fechada em horários específicos. Um outro cenário seria um forro vazado que permitisse o fechamento ao acionar os equipamentos de ar condicionado.

5. CONCLUSÕES

O uso da ventilação natural para resfriamento de edificações, mostra-se eficaz em situações como no clima de Brasília/DF. A ventilação cruzada no caso deste estudo, mostrou-se difícil considerando a tipologia da edificação com distribuição de escritórios do tipo *célula* e a necessidade de privacidade entre ambientes. No entanto, mecanismos de promoção da ventilação cruzada que possibilite a manutenção dos ambientes fechados e a utilização da ventilação noturna com resfriamento da massa térmica da edificação são estratégias satisfatórias, desde que a edificação tenha massa e inércia térmica suficiente, boa orientação solar e esquadrias (localizadas entre o forro e a laje) que possam permanecer abertas durante a noite.

Pode-se constatar que a retirada de calor da edificação durante o período noturno e a redução das temperaturas internas diminui a utilização do condicionamento de ar, uma vez que os ambientes internos iniciam o período da manhã com temperaturas mais amenas. Givoni (1992) diz que essa redução de temperatura pode ser de até 3°C. Este fenômeno pode ser bastante favorável, principalmente nos períodos do ano em que as amplitudes térmicas são expressivas, mas podem ser viáveis também em meses em que as temperaturas são mais expressivas (período de calor) se for utilizado juntamente com a ventilação cruzada.

6. REFERÊNCIAS

- ATHIENTIS, A.; O'BRIEN, W. Modeling, Design and Optimization of Net-Zero Energy Buildings. Ernst & Sohn GmbH & Co, 2015. ISBN 978-3-433-03083-7, p. 107-133.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-3.
- BASTIDE, A; LAURET,P.; GARDE,F.; BOYER, H. Building energy efficiency and thermal comfort in tropical climates Presentation of a numerical approach for predicting the percentage of well-ventilated living spaces in buildings using natural ventilation. *Energy and Buildings*, vol. 38, 2006, pp. 1093-1103.
- BITTENCOURT, L.; CÂNDIDO, C. Introdução à Ventilação Natural. Maceió, 2006.
- CÂNDIDO, C. Ventilação natural e conforto térmico em climas quentes. Florianópolis, 2006.
- GEROS, V.; SANTAMOURIS, M.; KARATASOU,S.; TSANGRASSOULIS, A.; PAPANIKOLAOU,N. On the cooling potential of night ventilation techniques in the urban environment. *Energy and Buildings*, vol. 37, 2005, pp. 243-257.
- GEROS, V., et al. 2005. On the cooling potential of night ventilation techniques in the urban environment. *Energy and Buildings*, 37, 243–257.
- GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines, *Energy and Buildings*, v. 18 pp. 11-23. 1992
- _____. Passive and low energy design of buildings, New York: John Wiley & Sons, 1994.

- GONÇALVES, Joana Carla Soares, BODE, Klaus, organizadores, Edifício Ambiental, São Paulo: Oficina de Textos, 2015
- GONÇALVES, J. C. S., DUARTE, D. H. S., Arquitetura Sustentável: uma integração entre ambiente, projeto e tecnologia em experiências de pesquisa, prática e ensino. In.: Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 6, n. 4, p. 51-81, out/dez 2006.
- GRATIA, E., DE HERDE, A. How to use natural ventilation to cool narrow office buildings. Building and environment, 2004.
- GRATIA, E.; DE HERDE, A. Is day natural ventilation still possible in office buildings? Building and Environment, Vol. 39, 2004, pp. 399-409.
- GROSSO, Mario. O resfriamento passivo dos edifícios: conceitos, precedentes arquitetônicos, critérios projetuais, métodos de cálculo e estudo de caso. Maggioli Editori, Rimini: 1997. Pp. 587
- HENSEN, J. L. M., LAMBERTS, R. Building Performance Simulation and Operation, New York: Spon Press, 2011.
- KEELER, M, BURKE, B, Fundamentos de Projeto de edificações sustentáveis. Artmed Editora S. A.: Porto Alegre: 2009.
- KWOK, Alison G.; GRONDZIK, Walter T.. The Green Studio Handbook: Environmental Strategies for Schematic Design. Architectural Press: 2007. Pp. 436.
- LAMBERTS, R., DUTRA, L., PEREIRA, F. O. R., Eficiência Energética na Arquitetura, Rio de Janeiro: PROCEL, 1988.
- MACIEL. A. Projeto Bioclimático em Brasília: Estudo de Caso em Edifício de Escritórios. Dissertação de Mestrado. UFSC. 2002.
- MMA. PROJETEE. RESFRIAMENTO EVAPORATIVO + INÉRCIA TÉRMICA PARA RESFRIAMENTO. Disponível em: <http://projeteee.mma.gov.br/estrategia/resfriamento-evaporativo-inercia-termica-para-resfriamento/> Acesso em: 29 jun 2018.
- NICOL, F.; HUMPHREYS, M.; SYKES, O.; ROAF, S. Standards for thermal comfort. Chapman&Hall: London, 1995.
- PROJETEEEE. Dados climáticos. Disponível em: <http://projeteee.mma.gov.br/dados-climaticos/?cidade=DF+-+Bras%C3%ADlia&id_cidade=bra_df_brasilia-kubitschek.intl.ap.833780_try.1962>. Acesso em 19 jun 2018.
- SANTAMOURIS, M., ASIMAKOPOULOS, D. Passive cooling of buildings. Earthscan: Abingdon, 2013
- SANTAMOURIS, M., Advances in passive cooling. Earthscan: Abingdon, 2007.
- UNIÃO EUROPEIA. Directiva 2010/31/UE do parlamento europeu e do conselho de 19 de maio de 2010 relativa ao desempenho energético dos edifícios (reformulação): L 153/13. Jornal oficial da união europeia, Parlamento Europeu e Conselho da União Europeia, Estrasburgo, 18 jun. 2010.