



A INTEGRAÇÃO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL NO PROCESSO PROJETUAL DE UM EDIFÍCIO VERTICAL MULTIFAMILIAR NA ZB7

Carlos Alberto da Silva Júnior (1); Clara Ovídio de Medeiros Rodrigues (2); Aldomar Pedrini (3)

(1) Arquiteto, Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, projeto e meio ambiente, albertoarq_1@hotmail.com

(2) Mestre, Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo UFRN/ Professora do Curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal Rural do Semi-árido, claraovidio@gmail.com

(3) PhD, Professor do Departamento de Arquitetura, apedrini@ufrnet.br
Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Arquitetura, Laboratório de Conforto Ambiental, Cx Postal 1663, Natal-RN, 59078-970, Tel.: (84) 3215-3722

RESUMO

Este trabalho demonstra a importância da integração de métodos e ferramentas de auxílio à tomada de decisões projetuais durante a elaboração do projeto de uma edificação habitacional multifamiliar vertical para uma cidade com clima de características quente e seco, e também de quente e úmido. São apresentados o processo projetual, a avaliação do projeto pelo método prescritivo da etiqueta PBE-Edifica, e a quantificação do desempenho do projeto por meio de simulações computacionais. Os resultados apresentam comparações da ocorrência de horas em conforto e os níveis de eficiência energética alcançados. A utilização de estratégias bioclimáticas acompanhadas por ferramentas de quantificação integradas ao processo projetual podem aumentar em cerca de 20% a ocorrência das horas em conforto, bem como mudar a classificação da etiqueta PBE-Edifica de E para A. Também foi demonstrado que mesmo com uma boa solução de envoltória a operação inadequada das aberturas podem interferir reduzindo até 25% a ocorrência das horas em conforto. Esses resultados contribuem no entendimento do impacto da envoltória seletiva para o clima estudado, bem como na discussão da influência do comportamento do usuário no desempenho das habitações.

Palavras-chave: simulação computacional, estratégias bioclimáticas, desempenho térmico, Etiqueta PBE-Edifica.

ABSTRACT

This paper demonstrates the importance of the integration of methods and tools to aid in the making of design decisions during the elaboration of a multifamily vertical housing development design for a city with a hot and dry climate, as well as one with warm conditions. We present the design process, the evaluation of the design by PBE-Edifica label's prescriptive method, and the project performance's quantification through computational simulations. The results present comparisons of the occurrence of hours in comfort and the levels of energy efficiency achieved. The use of bioclimatic strategies in conjunction with quantification tools integrated to the design process can increase the occurrence of hours in comfort by about 20% and may increase the classification of PBE-Edifica from E to A. It has also been shown that even with a good envelopment solution, improper operation of the openings can interfere by reducing the occurrence of hours in comfort up to 25%. These results contribute to understand the impact of the selective envelopment on the climate under study, as well as in the discussion on the influence of user's behavior at the performance of the dwellings.

Keywords: Simulation, bioclimatic strategies, thermal performance, PBE-Edifica Label.

1. INTRODUÇÃO

No processo projetual, a análise dos condicionantes arquitetônicos e avaliação das demandas envolvem a elaboração do programa de necessidades, consulta à legislação pertinente, exame de aspectos físicos do terreno, apreciação dos condicionantes econômicos, análise de materiais e técnicas construtivas disponíveis e identificação dos condicionantes climáticos. Esta última tem o intuito de identificar as principais estratégias bioclimáticas e seu rebatimento na configuração do tipo do edifício (forma) e de outros elementos e componentes arquitetônicos, à exemplo de tamanho e disposição de aberturas, beirais, dentre outros, permitindo a adaptação do edifício ao clima. Assim, a determinação do partido de um projeto arquitetônico ambientalmente sustentável envolve o domínio teórico sobre o controle que o edifício exerce nas variáveis climáticas, possibilitando a redução dos efeitos negativos e a potencialização dos positivos (MONTEIRO; BITTENCOURT; YANNAS, 2015).

O projeto de arquitetura que visa o atendimento de critérios e metas de desempenho estão incorporando cada vez mais a análise de desempenho ambiental do edifício projetado. Nesse contexto, as ferramentas de simulação térmica e energética de edificações são úteis na previsão do desempenho destas por meio de algoritmos que convertem processos físicos complexos em um modelo aceitável. Esses processos incluem a psicrometria, a transferência de calor, a iluminação, a acústica e o fluxo de ar (AUGENBROE, 2003; WILDE, 2004; HENSEN; LAMBERTS, 2011) e também deve-se considerar o efeito do comportamento do usuário (HONG et al., 2015). Seus resultados são avaliados com parâmetros como fluxo de calor, temperatura e consumo de energia (WILDE, 2004). As simulações são tidas como fundamentais para o desenvolvimento do projeto que atendam metas de eficiência energética, auxiliando e levando a soluções adequadas (MCELROY et al., 2001). É importante que as simulações subsidiem o processo de projeto, em vez de se limitarem a confirmar o resultado final do desempenho das edificações (AUGENBROE, 1992; HOLM, 1993, apud, MORBITZER et al., 2001). Até porque, as decisões projetuais mais importantes comumente ocorrem nas primeiras fases do processo (BALCOMB, 1998). Dessa forma, as ferramentas de simulação são úteis para identificar diretrizes e campos de solução (síntese de análises) e também para quantificar as hipóteses dos projetistas, por meio de testes (LAWSON, 2011).

Neste trabalho foram investigados a aplicação dos princípios da arquitetura bioclimática, focando no desenvolvimento de uma envoltória seletiva e no uso de rotinas de ventilação como estratégia de resfriamento passivo para a zona bioclimática 7. A investigação desses fatos busca aproximar a pesquisa da prática profissional e contribuir para compreender o impacto que o usuário pode causar no desempenho.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é demonstrar o potencial da integração de simulações de desempenho termoenergético na quantificação das estratégias bioclimáticas para suporte à tomada de decisões no processo projetual de um edifício residencial multifamiliar vertical na zona bioclimática 7.

3. MÉTODO

O método está dividido em três partes: o processo projetual em si; a avaliação do projeto pelo método prescritivo da etiqueta PBE-Edifica, e a quantificação do desempenho do projeto através do método de simulações.

A primeira parte consiste no desenvolvimento do processo projetual que visa a Etiqueta PBE-Edifica nível A. Houve a caracterização do clima e estudo das diretrizes bioclimáticas recomendadas para o projeto. Esse entendimento influenciou desde a programação arquitetônica da edificação proposta até o detalhamento do projeto. As tomadas de decisões foram guiadas por simulações de ventilação, com auxílio do programa *Flow Design*, pela utilização do cálculo do volume de trocas de ar em cada ambiente de permanência prolongada proposto por Cunha (2010), e por simulações de sombreamento, realizadas no programa *Suntool*. Também foram utilizados parâmetros de fator de calor solar para escolha dos materiais e cores das paredes externas (Tabela 1), esse estudo foi aprofundado nas fases seguintes. Na segunda parte, utilizou-se o método prescritivo do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) para refinar o projeto das unidades habitacionais e avaliar o atendimento da meta nível A na etiqueta PBE-Edifica. Foram selecionados dois tipos de blocos para vedação externa, dois tipos de cobertura e duas absorvâncias (0,2 e 1), conforme a Tabela 1. Durante a aplicação do método prescritivo, foi utilizado apenas a absorvância 0,2, para identificar a etiqueta de eficiência energética. Foram criados dois padrões de esquadrias para simular o desempenho de portas e janelas: com venezianas e sem venezianas, identificadas por CV e SV, respectivamente (Figura 1).

Tabela 1- Materiais e propriedades

Materiais	Composição	Transmitância (W/(m²k))	Absortância α1 (branco)	Absortância α2 (preto)	Fator de calor solar 1	Fator de calor solar 2	Cap. Térmica (KJ/m²k)
Alvenarias Ext.	Bloco Teclev	1	0,2	1	0,8	4	192
	Bloco cerâmico	2,59	0,2	1	2	10,36	100
Coberturas	Laje pré-moldada com blocos em EPS	2,29	0,2	1	1,8	9,16	132
	Laje pré-moldada com blocos em EPS + Telhas sanduíche	0,65	0,2	1	0,5	2,6	176

A proposta foi comparar o desempenho de esquadrias de tamanho padrão disponíveis no mercado ao de esquadrias com maior área de ventilação. O vão da área de abertura das janelas CV dos dormitórios é duas vezes maior do que o das janelas SV. A porta da varanda foi simulada com mesmo vão de abertura, alternando-se apenas a camada inferior entre vidro e venezianas (Figura 1).

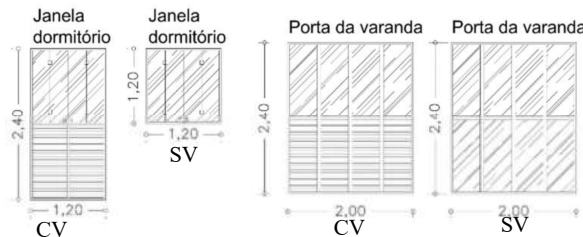


Figura 1- Esquadrias com venezianas e sem venezianas

A terceira parte utilizou simulações termoenergéticas realizadas no programa *DesignBuilder* para continuar refinando o projeto e avaliar as unidades habitacionais pelo método de simulação do RTQ-R e com base na ocorrência das horas em conforto. As simulações foram divididas em três fases, nas quais o critério adotado para avaliação foi a quantidade de horas em conforto, em conforto caso haja movimento de ar e as ocorrências de desconforto ao calor e ao frio (Tabela 2). A primeira fase combina alvenarias, coberturas, esquadrias CV e SV e orientação, gerando 16 modelos, com o objetivo de identificar aquele com melhor desempenho. Na segunda fase, esse modelo padrão foi utilizado para verificar o impacto das decisões projetuais no desempenho. Alterou-se a orientação solar, a operação das esquadrias para ventilação, proteção solar, a cor das paredes e cobertura e combinou-se todas essas variáveis no mesmo modelo, gerando 10 modelos. A terceira e última fase previu uma comparação entre os resultados do uso de quatro rotinas para operação das esquadrias: esquadrias sempre abertas; sempre fechadas; abertas conforme rotina de ocupação do RTQ-R e operação automática, de acordo com critérios de diferença de pressão e temperatura do ar, quando a interna for maior do que a externa.

Tabela 2- Fases de aplicação do método de simulação

Conforto + movimento	FASE 1-Método de combinação		FASE 2- Impacto das variáveis				FASE 3-Sistemas de ventilação
	Conforto + movimento	TL-Bloco Teclev AL-Alvenaria convencional	AC	Modelo padrão	M.NE	M.SE	ON-Rotina de ventilação em modo ligado.
	CT-Com telha sanduíche ST-Sem telha sanduíche	ST	NE-Nordeste Se-Sudeste	NORTE	OESTE	OFF- Rotina de ventilação em modo desligado.	
	CV- Com venezianas SV-Sem venezianas	SV	Sem ventilação	Off. NE	Off. SE	Vent. Aut. -Rotina de ventilação de abertura automática- temperatura.	
	NE-Nordeste SE- Sudeste	NE	Sem proteção para sombreamento	S.P. NE	S.P. SE	Vent. RTQ-R. - Ventilação rotina de ocupação RTQ-R.	
			Parede e coberturas pretas	P.C.P. NE	P.C.P. SE		
			Todas as combinações	T.A.C. N	T.A.C. O		
			N-Norte O-Oeste				

3.1. Condicionantes de projeto

O terreno está localizado num bairro residencial com predominância de edificações térreas de padrão médio em Mossoró-RN. Possui dimensões de 120m x 75m, área de 9.000m², murado, terraplanado, com a testada do acesso principal para Noroeste.

A proposta foi direcionada para o público da faixa 2 do programa MCMV, com vistas ao maior limite de financiamento e a existência de subsídios do governo federal. Foi adotado o método de programação *Problem seeking* no amadurecimento e identificação das diretrizes de projeto. Dentre elas destacaram-se: a) habitação multifamiliar vertical; b) flexibilidade em layout interno; c) flexibilidade em fachadas; d) UHs com 3 quartos; e) UHs acessíveis; f) divisão da obra em duas torres para viabilizar o caixa da empresa; g) limite orçamentário de R\$170.000,00; h) primeira edificação residencial vertical com ENCE A em Mossoró; i) resfriamento passivo das UHs e j) observação às leis do plano diretor e código de obras de Mossoró, a norma de combate a incêndios, a NBR 9050-acessibilidade e ao manual de elaboração de projetos da Caixa Econômica Federal.

4. RESULTADOS

O clima da cidade é oficialmente enquadrado como ZB7 (ABNT, 2003) e caracterizado por grandes amplitudes térmicas ao longo do dia. A análise detalhada do clima por meio do software *Climate Consultant* e do arquivo RN_Mossoro.epw (RORIZ, 2016) de referência, ano 2008, de Mossoró, se baseou no modelo adaptativo da ASHRAE (2001). Há 53% de horas em conforto ao longo do ano e 47% de desconforto ao frio ou ao calor (Figura 2-A). Os ventos na cidade ocorrem com maior frequência no sentido Nordeste e Sudeste (Figura 2-B) o, o clima local apresenta índices de umidade superiores a 70% nos meses março, abril e maio, com característica de quente e sub úmido (PACHECO, 2015).

As ocorrências de desconforto ao frio indicam a necessidade de controlar a ventilação natural para evitar o resfriamento do ambiente construído através do movimento de ar, que agrava ainda mais a sensação de desconforto ao frio. Como ocorrem na madrugada, não se justifica o aquecimento solar passivo. As ocorrências de desconforto ao calor demonstram que o movimento de ar, natural ou forçado, pode proporcionar conforto térmico porque a temperatura do ar é inferior à da pele, entretanto é importante que seja seletivo para evitar a entrada de ar com temperaturas mais elevadas, que podem comprometer o efeito da massa térmica. Embora seja possível usar resfriamento evaporativo, a segunda alternativa é proporcionar resfriamento por radiação térmica, por meio de superfícies internas com temperatura inferior ao do ar, a exemplo das casas de fazenda (DIAS *et al.*, 2013). O aquecimento não é recomendável e por isso devem ser empregadas proteções solares nas aberturas e fechamentos, ou que estes tenham baixo fator de calor solar.

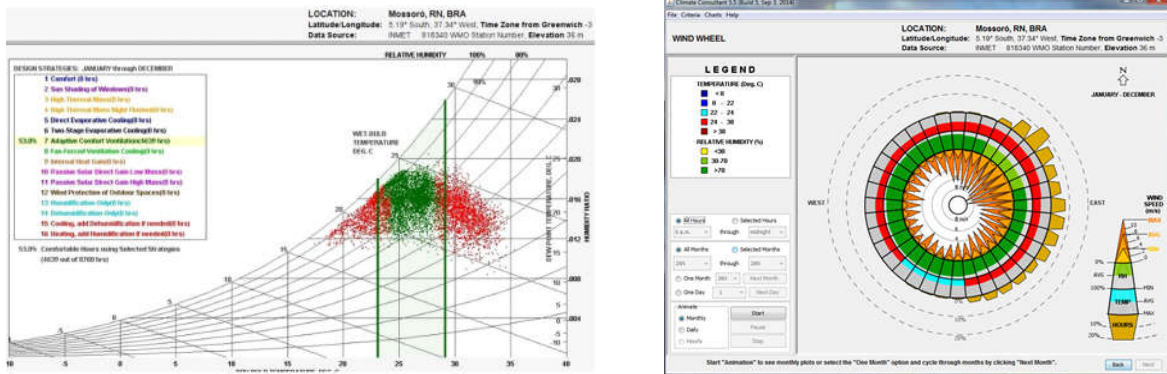


Figura 2- Dados climáticos do arquivo Mossoro.epw: Carta Psicométrica (A) e direção dos ventos (B).

4.1. PROJETO

A definição da forma da unidade habitacional levou em consideração a dualidade do clima local, hora quente e seco, hora com comportamento de quente e úmido. Em seus estudos Olgay (1963) defendia que em regiões de clima quente as unidades deveriam apresentar um formato de corpo alongado, e serem direcionadas para os ventos predominantes, afim de resfriar a massa edificada. Matos et al. (2014) demonstraram através de análises pós ocupação, realizadas na cidade de Natal-RN caracterizada como quente e úmida, que a eficiência energética pode ser comprometida pelo aumento do número de paredes externas. Neste sentido o formato proposto para a UH buscou reduzir a área de exposição de paredes externas e permitir a ventilação cruzada. Conforme formato adotado (Figura 3), as marcações em amarelo representam as lajes em balanço e a varanda. As linhas em magenta simbolizam o uso de painéis deslizantes. Ambos os sistemas foram propostos para sombrear as esquadrias dos dormitórios e da sala. O primeiro esboço com a proposta para a implantação do pavimento tipo é mostrado na Figura 4 e denota a intenção do aproveitamento do potencial de ventilação. O formato final do pavimento tipo é mostrado na Figura 5.

A proposta é composta por 136 UHs, sendo 125 com 68,03 m² e 11 acessíveis com 74,97 m² (Figura 6). Estas possuem o mesmo desenho das demais unidades, no entanto com dimensões e áreas maiores. Todas as paredes internas podem ser removidas, com exceção da parede de hidráulica que separa os banheiros. Isso permite ao menos 6 diferentes layouts internos, garantindo a flexibilidade e a possibilidade de adequação a diferentes perfis familiares.

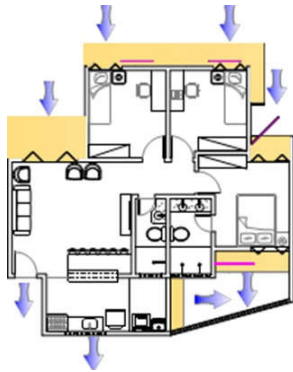


Figura 3- Modelo de UH

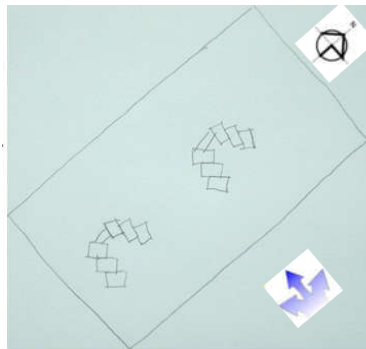


Figura 4 -Estudo de implantação das torres.

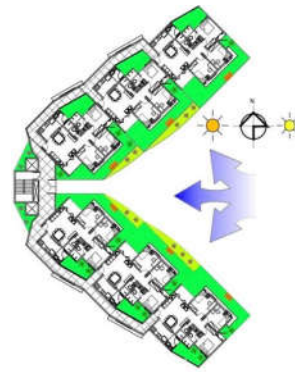


Figura 5-Pavimento tipo.



Figura 6 – Torres A e B

4.2. Testes de ventilação

O formato proposto para o pavimento foi testado no programa *Flow Design* quanto às diferenças de pressão na envoltória, com intuito de proporcionar a ventilação cruzada. Foram simulados os efeitos de sombra de ventos de uma torre na outra. Foram consideradas as orientações Nordeste, Leste e Sudeste no pavimento térreo, no sexto andar e no 12º andar em diferentes velocidades. A distância de 12 m entre as torres mostrou-se suficiente para evitar a criação de um túnel de vento. À exemplo do teste realizado no pavimento térreo com vento a sudeste e velocidades de 1,0 e 3,0m/s, se evidencia a possibilidade de movimentação do ar para proporcionar conforto no exterior (Figura 7).

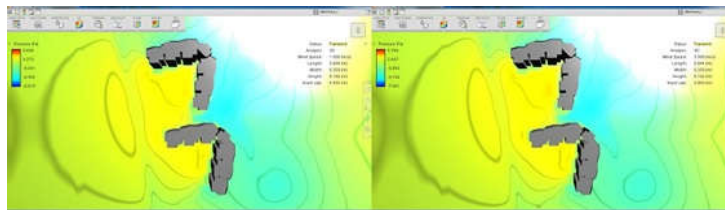


Figura 7- Teste de ventilação com orientação sudeste para velocidades de 1,0 e 3,0 m/s.

As renovações de volumes de ar de cada ambiente de permanência prolongada dos pavimentos térreo, 6º andar e 12º andar, tanto para a orientação nordeste como para sudeste foram calculadas para todas as horas do ano considerando o método proposto por Lamberts et al. (2000, apud CUNHA, 2010). A análise do potencial de ventilação da suíte, quarto 02, quarto 01 e sala da UH térrea direcionada à nordeste (Figura 8) indica que o período de calmaria é maior durante a madrugada e se reduz à tarde. O volume de trocas fica acima de 120 ACH durante a maior parte dia. No entanto este fato ocorre durante alguns dos períodos mais quentes, e nestes intervalos o uso da ventilação não é recomendado, e demanda o controle da ventilação. A

velocidade média interna do vento é de 0,6m/s neste pavimento, ficando dentro do padrão recomendado pela ASHRAE de 0,8m/s.

Os percentuais de sombreamento foram simulados no programa *Solar Tool* (Versão 2.0). As análises desta etapa avaliam a eficácia do sombreamento pelas lajes em balanço, de 0,80 m de profundidade, à frente dos dormitórios. Nos quartos direcionados à Nordeste a utilização da laje fornece uma proteção parcial apenas a partir das 9:00 h do dia. O emprego da laje combinada com painéis aumentou a proteção para as primeiras horas do dia (Figura 9). Foram adicionados painéis às aberturas dos quartos e suíte para protegê-los antes das 9h.

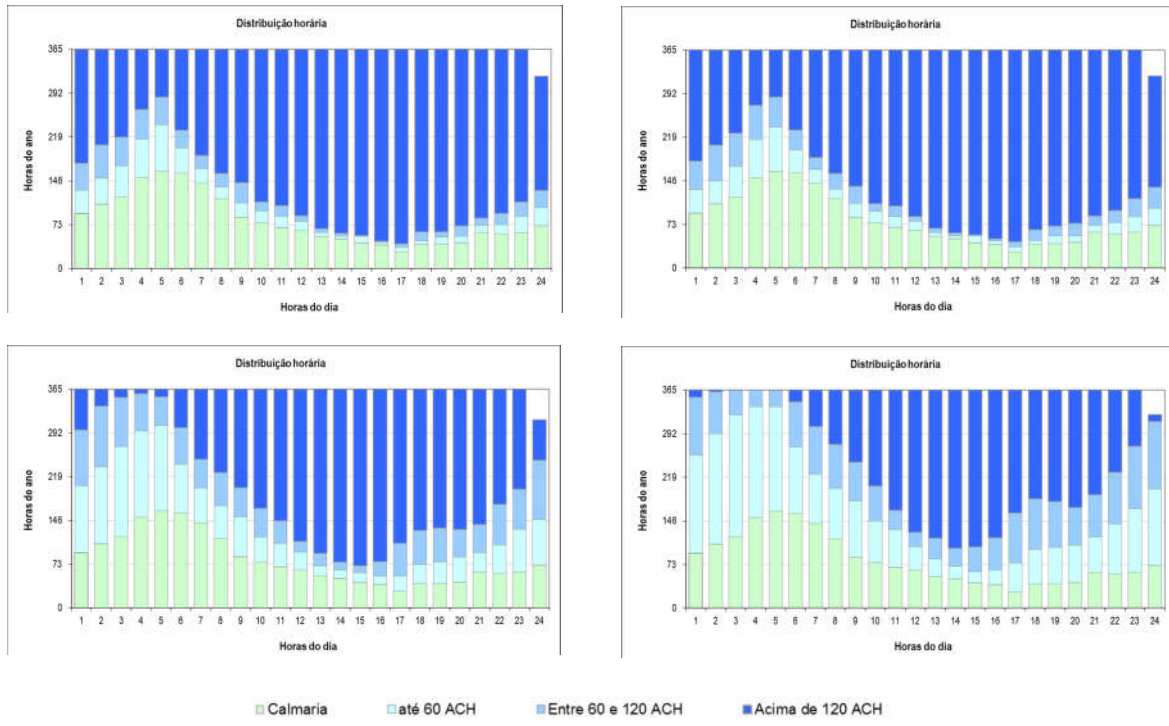


Figura 8 – Trocas de ar na suíte, quarto 02, quarto 01 e sala da UH nordeste do 1º andar (Adaptado de Cunha, 2010)

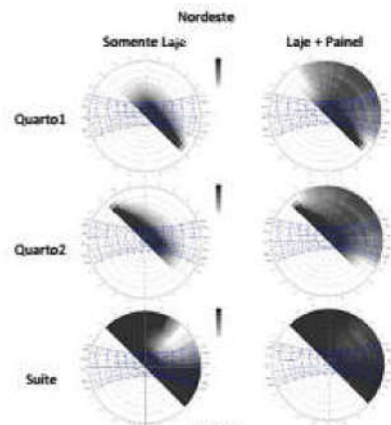


Figura 9- Máscaras de sombreamento da UH nordeste (Adaptado do Solar Tool)

4.3. Método prescritivo

As primeiras avaliações foram realizadas considerando o uso do bloco Teclev e cobertura com telhas do tipo sanduíche, sempre com absorvância de 0,2. Foram realizadas duas etapas de substituição de materiais até que fossem alcançados os resultados esperados. Os piores resultados foram encontrados nas unidades posicionadas no pavimento da cobertura e nas UHs posicionadas a Sudeste na extremidade de cada torre, conforme a

Figura 10. A solução encontrada foi simular a retirada das telhas sanduíche, e utilizar apenas a laje treliçada, pré-moldada com blocos em EPS tratada com impermeabilizante. Nas UHs com frente para o sudeste a solução foi utilizar alvenaria de blocos cerâmicos na parede lateral das suítes. Os índices de exposição solar nas paredes mencionadas são altos devido a sua orientação para o Nordeste. A substituição do bloco reduziu a quantidade de graus hora para resfriamento destas UHs, conferindo-lhes a ENCE A pelo método prescritivo. Diante dessa constatação, foi realizada uma nova análise com o uso da alvenaria de blocos cerâmicos em todas as paredes externas da torre. As etiquetas mantiveram os mesmos índices, no entanto o número de graus hora para resfriamento foi reduzido em cada uma das UHs avaliadas.

LEGENDA		TORRE B - ZB7		
	ENCE A			
	ENCE B			
	1101-B		1203-B	1204-B
12° PAV	4,27	4,27	4,57	4,25
11° PAV	4,27	4,57	4,57	4,25
10° PAV	4,57	4,57	4,57	4,25
9° PAV	4,57	4,57	4,57	4,25
8° PAV	4,57	4,57	4,57	4,25
7° PAV	4,57	4,57	4,57	4,25
6° PAV	4,57	4,57	4,57	4,25
5° PAV	4,57	4,57	4,57	4,25
4° PAV	4,57	4,57	4,57	4,25
3° PAV	4,57	4,57	4,57	4,25
2° PAV	4,57	4,57	4,87	4,25
1° PAV		4,57	4,57	4,87

Figura 10 - Análise da torre B pelo método prescritivo.

4.4. Simulação Computacional

As simulações das unidades habitacionais voltadas para Nordeste demonstraram variações de ocorrência das horas de conforto, sendo de 94% para o modelo sem venezianas e com uso do bloco Teclev (Tec SV), a 89% para o modelo que utilizou venezianas e alvenaria comum (Alv CV). A variação da cobertura estudada (CT e ST) foi insignificante nos resultados das simulações (Figura 11-A). Essa pequena variação é consequência da baixa absorvância utilizada nos modelos, apenas 0,2.

Nas unidades habitacionais voltadas para Nordeste, as maiores ocorrências de horas em conforto estão associadas à não utilização de venezianas (Tec SV). A combinação desses modelos com o tijolo Tecleve apresentou o melhor desempenho, com aproximadamente 94% das horas do ano em conforto, e nas combinadas com alvenaria (Alv SV) verificou-se cerca de 91% das horas do ano em conforto. Esses dados estão relacionados ao fato de que quanto menores as aberturas para ventilação, menor será a entrada de cargas térmicas provenientes das altas temperaturas do ar externo por meio da ventilação. O resultado do conjunto alvenaria sem veneziana (Alv SV) é similar ao resultado do Tecleve com venezianas (Tec CV), uma vez que apesar da entrada de calor ocorrer por meio da ventilação, a entrada via parede é diminuída.

Para as unidades habitacionais voltadas para Sudeste (Figura 11-B), observou-se uma variação entre os modelos similar ao verificado na orientação Nordeste. A maior ocorrência de horas em conforto foi 94% para o modelo que combina Tecleve sem o uso de venezianas (Tec SV) e a menor ocorrência, 89%, para o modelo que combina alvenaria com o uso de venezianas (Alv CV). Também para essa orientação a mudança no material da cobertura não apresentou variação significativa na ocorrência de horas em conforto. Nessa orientação, as maiores ocorrências de conforto estão associadas ao uso do bloco Teclev, quando não há utilização de venezianas (Tec SV), atingindo 94% de conforto. Se tiver veneziana (Tec CV), as horas em conforto caem para 92%. No modelo com uso de alvenaria sem veneziana (Alv SV), a ocorrência é similar, com cerca de 91% das horas em conforto. Já a associação da alvenaria com a veneziana (Alv CV) as horas em conforto caem para 89% das ocorrências.



Figura 11-Variações estudadas para unidades habitacionais orientadas a Nordeste (A) e a Sudeste (B).

4.4 Impacto das variáveis

O estudo do impacto das estratégias bioclimáticas do projeto foi quantificada por meio da comparação do desempenho do melhor modelo (Original NE e Original SE), com 94% de horas em conforto, com modelos sem as estratégias (Figura 12). A mudança de orientação para Oeste (Oriente O.) resultou numa pequena redução do desempenho para 93%. A retirada da proteção solar reduziu aproximadamente 3% das horas em conforto na orientação Nordeste (SP. NE) e 5% para a orientação Sudeste (SP. SE). A modificação das paredes e cobertura para a cor preta (PCP NE e PCP SE) reduziu o desempenho em aproximadamente 7%. A remoção da ventilação natural, deixando as janelas fechadas 100% do ano indicou que a ocorrência das horas em conforto caiu para 84% das horas na orientação Sudeste (Off SE), e para 79% das horas na direção Nordeste (Off NE).

Ao se comparar o desempenho com um projeto que não traz nenhuma dessas preocupações, ou seja, paredes e cobertura pintadas de preto, sem proteção solar, com janelas fechadas e na orientação Oeste (T.A.C Oeste), a ocorrência das horas em conforto cai para 41% das horas do ano, 55% das horas com movimento de ar, e 3% das horas em desconforto ao calor. Se essa mesma combinação for orientada para Norte (T.A.C Norte), observa-se 38% da ocorrência das horas em conforto, 59% das horas em conforto com movimento de ar e 3% das horas em desconforto ao calor.

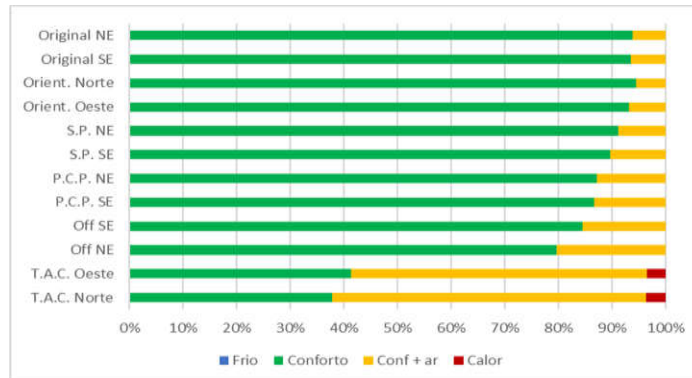


Figura 12 - Peso das variáveis na ocorrência das horas em conforto

4.5 Impacto da ventilação seletiva

O estudo mais aprofundado sobre a sensibilidade do uso da estratégia da ventilação seletiva demonstra que para uma arquitetura preocupada com o clima, caso o usuário abra a janela sempre que estiver nos cômodos da residência, de acordo com a rotina de ocupação determinada no RTQ-R (INMETRO, 2010), a ocorrência das horas em conforto é cerca de 94% das horas do ano (Figura 13). Caso o usuário nunca abra as janelas (Off SE e Off NE), o conforto cai para aproximadamente 88% das horas. Caso as janelas sejam deixadas abertas durante todo o dia, as horas em conforto caem para 80% das horas na orientação Sudeste (On SE) e para 75% das horas na orientação Nordeste (On NE). Isso ocorre devido as altas temperaturas que a temperatura do ar externo atinge ao longo do dia, sendo muitas vezes mais eficaz impedir a entrada do ar para evitar a entrada de calor. Além disso, a diferença do desempenho da orientação Sudeste e Nordeste deve-se ao vento predominante durante o período da manhã vir de Sudeste e a ventilação predominante vir do Nordeste durante o período da tarde, período em que o ar externo atinge maiores temperaturas.

Para o caso de se adotar a abertura das janelas de acordo com uma rotina automatizada que considera que a janela será aberta apenas quando a temperatura do ar interna for maior do que a temperatura do ar externa, percebe-se um possibilidade de melhoria tanto para Nordeste quanto para Sudeste, atingido 95% das horas do ano em conforto.

Dessa forma, percebe-se que o modo de operação da abertura pode influenciar cerca de 20% das ocorrências de conforto ao longo do ano. Sendo essa operação fundamental para se implementar a estratégia bioclimática da ventilação seletiva. Vale ressaltar que essa operação, em habitações residenciais, está comumente relacionada ao comportamento do usuário, o que destaca a importância da variável usuário no desempenho das edificações no clima quente e seco.

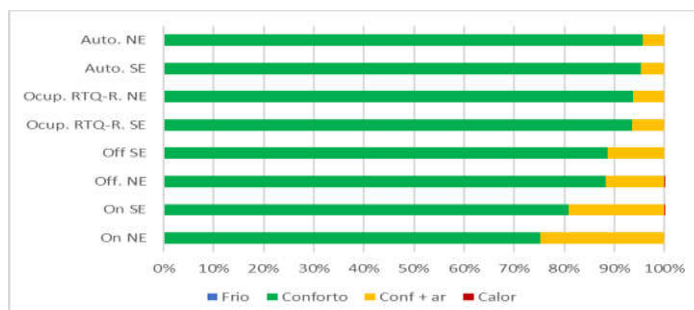


Figura 13 Impacto do modo de ventilação na ocorrência das horas em conforto

4.6 Análise eficiência pelo método do RTQ-R

A avaliação no nível de eficiência energética das edificações residenciais é feita com base na Tabela 3.22 do RTQ-R. No entanto a única cidade fornecida como parâmetro na ZB7 é Cuiabá-MT, distante 3.200 Km de Mossoró (Tabela 3). Caso o desempenho da edificação seja igual ou menor que 12.566 Graus hora para resfriamento, esta recebe ENCE A.

Tabela 3- Equivalente numérico da envoltória do ambiente – Zona Bioclimática 7 (RTQ-R, 2010)

Cidade: Cuiabá - MT		ZB 7		Tipo do arquivo: SWERA	
Eficiência	EqNum	GHR	C _R (kWh/m ² .ano)	C _A (kWh/m ² .ano)	
A	5	GHR ≤ 12.566	C _R ≤ 34,483	-	C _A ≤ -
B	4	12.566 < GHR ≤ 18.622	34,483 < C _R ≤ 52,805	-	< C _A ≤ -
C	3	18.622 < GHR ≤ 24.679	52,805 < C _R ≤ 71,126	-	< C _A ≤ -
D	2	24.679 < GHR ≤ 30.735	71,126 < C _R ≤ 89,448	-	< C _A ≤ -
E	1	30.735 < GHR	89,448 < C _R	-	< C _A

Os resultados das simulações com base na rotina de ocupação do RTQ-R nas unidades posicionadas a Nordeste e Sudeste apresentou nível A de eficiência energética (Tabela 4).

Tabela 4- Resultados da simulação da rotina do RTQ-R em UHs à Nordeste(A) e Sudeste (B).

Modelos com rotina de ocupação à Nordeste								
	Alv.SV. CT	Alv. SV. ST	Alv. VT. CT	Alv. VT. ST	Tec. SV. CT	Tec. SV. ST	Tec. VT. CT	Tec. VT. ST
GHR	8354,233	6749,885	8113,369	6728,9	10074,24	7873,569	9434,136	7691,737
(A) ENCE	A	A	A	A	A	A	A	A

Modelos com rotina de ocupação à Sudeste								
	Alv.SV. CT	Alv. SV. ST	Alv. VT. CT	Alv. VT. ST	Tec. SV. CT	Tec. SV. ST	Tec. VT. CT	Tec. VT. ST
GHR	8797,61	7103,264	8336,135	6938,001	10655,41	8350,521	9587,338	7831,061
(B) ENCE	A	A	A	A	A	A	A	A

A simulação também apresentou o resultado das más escolhas e em que nível estas afetam o desempenho da habitação (Tabela 5). Os modelos sem ventilação (Off) apresentam nível C, os modelos com cor preta (P.C.P) nível B e os modelos sem preocupações com as estratégias bioclimáticas (T.A.C), nível E.

Tabela 5- Resultado do impacto das variáveis no desempenho da habitação

Impacto das variáveis												
	Modelo NE	Modelo SE	Norte	Oeste	OFF NE	OFF SE	S.P. NE	S.P. SE	P. C.P. NE	P. C.P. SE	T.A.C. Norte	T.A.C. Oeste
GHR	10074	10655	10989	11529	20392	20196	12165	12516	14975	15714	31533	30835
ENCE	A	A	A	A	C	C	A	A	B	B	E	E

5. CONCLUSÕES

A integração das ferramentas de simulação no processo projetual proporcionam um diálogo entre o que o arquiteto pretende e o que as metas de desempenho sugerem. Dessa maneira, o entendimento do clima influenciou na determinação da orientação, forma do edifício e no estudo do potencial de ventilação cruzada. A quantificação do desempenho permitiu testar hipóteses e refinar o modelo para a solução de sombreamento, a área de abertura para ventilação e escolha de materiais. Ainda com o acompanhamento, a avaliação pelo método prescritivo não atingiu o nível A de eficiência, o que demandou continuidade no refinamento a partir das restrições estabelecidas pelo método.

A aplicação do método prescritivo gerou questionamentos quanto à necessidade do atendimento aos quesitos de porosidade e dispositivos especiais entre o 1º e o 5º andar na ZB7: recomendava-se a necessidade de ampliação da área de ventilação, gerando conflito com as recomendações bioclimáticas. Esse fato foi investigado nas simulações no DesignBuilder por meio de avaliação do desempenho de esquadrias com e sem venezianas. Em ambos os casos foram registradas altas ocorrências de horas em conforto, no entanto foi comprovado o favorecimento de esquadrias com pequenos vão de abertura.

A simulação computacional possibilitou quantificar o impacto de cada estratégia adotada sobre o modelo padrão e destacou o maior peso da ventilação como estratégia de resfriamento. Esse fato instigou a análise das rotinas de ventilação e demonstrou a proximidade de resultados entre o modelo com acionamento automático e o modelo configurado com base na ocupação prevista pelo RTQ-R. A coincidência dos períodos de acionamento deve-se em parte à ausência do usuário nos períodos mais quentes do dia. Esse resultado contribui ainda mais para discutir a influência do comportamento do usuário no desempenho das habitações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. NBR 15220 - Desempenho Térmico de Edificações Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social. Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social. Rio de Janeiro: ABNT 2005.
- ASHRAE. ASHRAE handbook of fundamentals: New York: ASHRAE, 2001.p.
- AUGENBROE, G. Integrated building performance evaluation in the early design stages. *Building and Environment*, v. 27, n. 2, p. 12, Abr 1992 1992. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/036013239290019L> >
- BALCOMB, D. The coming revolution in building design. *Environmentally Friendly Cities - PLEA'98*, 1998, Lisbon. James & James Science Publishers Ltd, June. p.33-37.
- CUNHA, Leonardo Jorge Brasil de Freitas. *Análise de métodos para aplicação de ventilação natural em projetos de edificações em Natal-RN*, Natal, RN, 2010.
- DIAS, A. R. D.; RODRIGUES, C. O. D. M.; SILVA, M. M. G.; ALVES, A. W. C.; PEDRINI, A. Estratégias bioclimáticas associadas à simulação computacional no processo projetual em clima quente seco: Aplicação no projeto da plataforma solar - Petrolina/PE. XII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e VIII Encontro Latinoamericano de Conforto no Ambiente Construído. Brasília: UnB 2013.
- HENSEN, H. L. M.; LAMBERTS, R. Introduction to building performance simulation. In: HENSEN, H. L. M. e LAMBERTS, R. (Ed.). *Building Performance Simulation for Design and Operation*. 1. New York: Spon Press, 2011. cap. 1, p.12.
- HOLM, D. Building thermal analyses: What the industry needs: The Architect's perspective. *Building and Environment*, v. 28, n. 4, p. 2, Out 1993 1993. Disponível em: < [https://doi.org/10.1016/0360-1323\(93\)90017-W](https://doi.org/10.1016/0360-1323(93)90017-W) >.
- HONG, T.; D'OCA, S.; TURNER, W. J. N.; TAYLOR-LANGE, S. C. An ontology to represent energy-related occupant behavior in buildings. Part I: Introduction to the DNAs framework. *Building and Environment*, p. 14, 13 fev 2015 2015.
- INMETRO. Regulamento técnico da qualidade para o nível de eficiência energética edificações residenciais. Anexo da portaria INMETRO nº 449/2010. Rio de Janeiro: 134 p. 2010.
- LAMBERTS, Roberto, et al. *Desempenho térmico de edificações*: Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.p.
- LAWSON, B. *Como arquitetos e designers pensam*. São Paulo: Oficina de textos, 2011.
- MATOS, J.; PEDRINI, A.; TINÓCO, M.; RUCK, A. Análise tipológica de edifícios residenciais verticais à luz do rtq-r, Natal, 12,13,14 de Novembro de 2014.
- MCELROY, L. B.; CLARKE, J. A.; HAND, J. W.; MACDONALD, I. A. Delivering simulation to the profession: The next stage? Seventh International IBPSA Conference. Rio de Janeiro, Brazil: *Building Simulation*: 831-836 p. 2001.
- MONTEIRO, L. M.; BITTENCOURT, L.; YANNAS, S. Arquitetura da adaptação. In: GONÇALVES, J. C. S. e BODE, K. (Ed.). *Edifício Ambiental*. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. cap. 1, p.27-55.
- MORBITZER, C.; STRACHAN, P.; WEBSTER, J.; SPIRES, B.; CAFFERTY, D. Integration of building simulation into the design process of an architecture practice. Seventh International IBPSA Conference. Rio de Janeiro, Brazil: *Building Simulation* 2001.
- OLGYAY, V. *Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism*. Princeton, N. J.: Princeton University Press, 1963.
- PACHECO, G.H.S. *Determinação de recomendações bioclimáticas para habitação de interesse social de quatro climas do rio grande do norte*. 2015. 134. Dissertação –Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2015.
- Plano Diretor de Mossoró - Lei complementar Nº 12, de dezembro de 2006
- PEÑA, W.; PARSHALL, S. *Problem seeking: an architectural programming primer*. 4th. ed. New York: Wiley, 2001.
- RORIZ, Maurício. *Roriz Bioclimática: Conforto térmico e eficiência energética*. Disponível em <http://www.roriz.eng.br/epw_9.html> Acesso em 17 de Novembro de 2016.
- WILDE, P. D. *Computational Support for the Selection of Energy Saving Building Components*. 2004. (PhD). Delft University of Technology, Delft

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES pelo apoio financeiro.