

INFLUÊNCIA DA VEGETAÇÃO NO CONFORTO TÉRMICO EM CONJUNTO HABITACIONAL DE INTERESSE SOCIAL

Natália Marra (1); Benjamin Morille (2); Eleonora Assis (3);

(1) Arquiteta, Mestranda no programa de pós-graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável, nataliacnm@gmail.com

(2) PhD, Engenheiro Pesquisador na Ecole Centrale Nantes, benjamin.morille@ec-nantes.fr

(3) PhD, Professora do Departamento de Tecnologia da Arquitetura e do Urbanismo, eleonorasad@yahoo.com.br

(1) (3) Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura, Laboratório de Conforto Ambiental, Rua Paraíba, 697, CEP 30130-140 Belo Horizonte, MG, Brasil, Tel.: +55 (31)3409-8873

(2) Ecole Centrale Nantes, Batiment T, 1 Rue de la Noé, 44 100 Nantes, França, Tel: +33 02.40.37.16.00

RESUMO

Pesquisas demonstram que o desconforto térmico gera gasto de energia com resfriamento e/ou aquecimento, bem como queda no rendimento nas atividades humanas. O desempenho térmico das edificações está diretamente relacionado com o microclima que sofre interferências de fatores como: a cobertura do solo, a rugosidade e a vegetação. Em Belo Horizonte, conjuntos habitacionais estão sendo implantados para substituir ocupações, em função de obras públicas e risco geológico. O objetivo deste trabalho é a avaliação do microclima em um conjunto habitacional de interesse social, estudando alternativas para a melhoria do conforto térmico interno e externo. A metodologia adotada foi a simulação computacional, analisando a situação atual e cenários que abordam questões como a influência da vegetação e do sombreamento arbóreo. O programa utilizado para as simulações foi o *SOLENE-microclimat*, desenvolvido pelo *Centre de Recherche Nantais Architectures Urbanités*, CRENAU. Os resultados obtidos foram comparados com índices de conforto térmico para o interior e o exterior, calculados com base nas variáveis de resposta das simulações. Verificou-se que os cenários de vegetação e arborização utilizados de forma conjunta foi suficiente para manter a temperatura na faixa de conforto interno e reduzir o tempo considerado como desconforto térmico externo ao longo do dia de 50% para 16% em relação aos indicadores utilizados.

Palavras-chave: conforto térmico, índice de conforto térmico, simulação computacional

ABSTRACT

Research findings show that thermal discomfort results in energy expenditure for cooling and/or heating, in addition to a decrease in the output of human activities. The thermal performance of buildings is directly linked to microclimate that is related to: the soil cover, roughness and vegetation. Due to public works and geological risks, housing complexes are being implemented in Belo Horizonte in order to replace occupations. The aim of this work was to evaluate the microclimate generated in a social-interest housing complex and to investigate alternatives to improve the internal and external thermal comfort. The methodology adopted was based on a computer simulation, analysing the current situation and scenarios that take into consideration aspects such as the influence of vegetation and tree shading. The programme used to create the simulations was *SOLENE-microclimat*, which was developed by the *Centre de Recherche Nantais Architectures Urbanités*, CRENAU. The results obtained from the simulations were compared to internal and external thermal comfort indexes based on the variables in the simulated answers. It was observed that the combination between the vegetation scenarios and tree shading was sufficient to maintain the temperature in the comfort range in the internal comfort index and reduce the time considered as thermal discomfort throughout the day from 50% to 16% in the external comfort index.

Key words: thermal comfort, thermal comfort index, building simulation

1. INTRODUÇÃO

As edificações usualmente utilizadas para as habitações de interesse social no Brasil têm demonstrado baixo desempenho térmico, na maioria dos casos pela padronização dos edifícios em todo território nacional, além da utilização de uma produção de baixo custo que limita o investimento em relação aos materiais gerando problemas como o desconforto térmico.

Xavier (2008) afirma que o foco em relação à essas edificações é o custo das mesmas, com isso as características climáticas e ambientais dos locais são comumente ignoradas em fase de projeto. De acordo com Lima, Pedrini e Alves (2012) os usuários de baixa renda acabam investindo em recursos ativos (condicionador de ar e ventilador) ou, na impossibilidade dessas aquisições, convivem com condições de estresse térmico e até problemas de saúde.

Lima, Pedrini e Alves (2012) verificaram o desempenho térmico da residência modelo do Programa Social da Habitação (PSH) implantada no município de Parnamirim/RN, a partir da aplicação do método da simulação computacional do Regulamento Técnico da Qualidade de Edificações Residenciais (RTQ-R) que verifica a relação de graus-hora de resfriamento. O resultado ponderado demonstrou que a edificação se qualifica como “E”, a classificação energética mais baixa dentro do regulamento. Além disso, em aproximadamente vinte mil horas do ano a temperatura operativa da casa analisada esteve acima do limite máximo estabelecido pelo RTQ-R.

Orsi (2016) realizou uma pesquisa em quatro conjuntos habitacionais que fazem parte do Programa Minha Casa Minha Vida no município de Araraquara/SP buscando uma investigação que comparasse elementos objetivos da qualidade de vida da população com sua percepção em relação ao desconforto térmico por meio do Índice de Temperatura e Umidade – ITU e o Índice de Desconforto – ID. A partir dos dados analisados, constatou-se que durante todo o verão os conjuntos habitacionais analisados apresentaram desconforto térmico, tanto utilizando-se o ITU como o ID como indicadores para análise.

Silva (2015) analisou os parâmetros de conforto térmico em habitações populares em um conjunto em João Pessoa e a relação desses parâmetros com os índices de conforto PMV (Voto médio estimado) e PPD (Porcentagem de pessoas insatisfeitas), utilizando-se de dados coletados no interior da residência, os resultados demonstraram que todas as habitações analisadas apresentaram desconforto térmico. No verão, a classificação dos ambientes foram de: levemente quente ou quente para a maioria dos horários analisados.

Nascentes (2012) analisou a tipologia de 2 e 3 quartos das edificações do Programa de Aceleração do Governo Federal (PAC), utilizadas para o reassentamento da população removida em função de obras públicas e áreas de risco geológico na cidade de Belo Horizonte. A análise foi realizada de acordo com o RTQ-R e a norma de desempenho NBR 15575. Os resultados mostraram que a tipologia padrão de reassentamento com o revestimento na cor escura, foi classificada em relação aos pré-requisitos do RTQ-R no último nível de eficiência, nível “E”, em todas as unidades habitacionais. Além de não atender aos requisitos mínimos da norma de desempenho NBR 15575 (2013), devido às propriedades térmicas dos materiais que possuem limites diferentes de acordo com o valor da absorvância do material.

Dentre as possibilidades de melhoria nas condições de conforto térmico apontadas em estudos relacionados à habitação popular, destacam-se: a ventilação cruzada, os dispositivos de sombreamento, a especificação dos materiais a serem utilizados e a orientação solar das unidades habitacionais. Poucos estudos apontam para uma análise das áreas externas das edificações como, por exemplo, a utilização da vegetação como recurso para modificar o microclima em habitações de interesse social.

De acordo com Gomes e Amorim (2003), a importância de se estudar o conforto térmico em áreas externas e em espaços públicos de lazer, se expressam, sobretudo por meio da presença de vegetação que é um condicionante fundamental no estudo da temperatura urbana.

Existem diversas pesquisas utilizando metodologias que comprovaram que a vegetação atua sobre o microclima urbano, contribuindo significativamente para melhorar a sensação de bem-estar aos usuários.

Abreu (2008) avaliou a escala de influência da vegetação no microclima por diferentes espécies arbóreas, caracterizou o alcance da atenuação da radiação solar incidente através de medições em campo, obtendo valores de radiação total incidente ao sol e radiação total incidente à sombra. Concluiu que, diretamente, a radiação solar atenuada pelas árvores é capaz de reduzir a temperatura do ar e a temperatura de globo dos ambientes externos, e que indiretamente, a evapotranspiração da vegetação é responsável pela umidificação local, mostrando que as espécies com maior capacidade de atenuação e maiores taxas de evapotranspiração são aquelas que têm maior capacidade de redução da temperatura do microclima urbano.

Malys, Musy e Inard (2016) verificaram os impactos diretos (modificações no próprio edifício) e indiretos (modificações no entorno do edifício) da vegetação no conforto térmico de uma edificação localizada na cidade de Nantes, França. Por meio de um estudo comparativo entre o solo vegetado, fachadas

e telhados verdes utilizando o modelo *SOLENE-microclimat*. Os autores compararam os efeitos destas estratégias pelo índice de conforto térmico da norma europeia NF EN 15251(2007). Os resultados mostraram que os telhados verdes foram eficazes apenas para o último pavimento da edificação, as fachadas verdes tiveram impactos diretos e indiretos, e o piso vegetado proporcionou somente um efeito indireto, o que de acordo com Malys, Musy e Inard (2016) deve ser considerado em edifícios situados em áreas urbanas.

A relação entre as alterações de temperatura e demais variáveis climáticas proporcionadas pela vegetação e por outras estratégias de conforto e a sensação térmica humana têm sido verificadas por meio de índices de conforto térmico. Estes índices englobam uma análise conjunta de parâmetros como: temperatura do ar, temperatura média radiante, velocidade do vento e umidade relativa do ar, entre outros fatores.

De acordo com Stensjö (2015) diferentes índices são utilizados como instrumentos para orientação nas etapas iniciais de projeto, uma vez que permitem uma prévia avaliação do clima do ponto de vista da possível resposta de conforto térmico do usuário, além de indicar diretamente estratégias de projetos para adequação ao clima. O uso integrado de índices de conforto térmico para ambientes externo e interno permite avaliar o efeito conjunto do desenho urbano e do projeto habitacional.

O programa de simulação computacional *SOLENE-microclimat*, desenvolvido pelo *Centre De Recherche Nantais Architectures Urbanités* (CRENAU), da escola de Arquitetura de Nantes, França, permite essa análise integrada da edificação e do seu entorno, pois estima a sensibilidade do comportamento térmico do edifício às condições externas heterogêneas, considerando as propriedades radiativas dos materiais, as interreflexões e o balanço de ondas infravermelhas entre eles, estimando o fluxo solar que atinge a superfície urbana. *SOLENE-microclimat* possui código aberto, seu direito autoral permite o estudo e a modificação de forma gratuita para qualquer finalidade. O software foi desenvolvido ao longo de estudos que incorporaram ao modelo radiativo inicial criado por Grolleau (2000), um modelo térmico de superfície (VINET, RAYMOND e INARD, 2000), um modelo de reservatório de água e árvores (ROBITU, 2005), um modelo térmico do edifício considerando solo vegetado, (BOUYER, 2009) e a possibilidade de estudar paredes e coberturas verdes (MALYS, 2012). Para as simulações são necessários como parâmetros de entrada: Arquivo climático da cidade analisada, a definição das propriedades térmicas dos materiais, geometria que pode ser modelada pelo programa Sketchup®, a definição da posição geográfica, do número de ocupantes e a temperatura inicial de simulação.

O comportamento térmico da edificação é representado por um modelo nodal multizonal, no qual cada pavimento é considerado como uma zona. O balanço térmico de cada triângulo da malha permite realizar simulações dinâmicas e avaliar a evolução temporal das temperaturas superficiais, bem como obter valores de temperatura média radiante interna e temperatura do ar interno. É possível observar uma variação livre da temperatura do ar interior, bem como o consumo energético do edifício por meio da definição de uma temperatura interna fixa. O modelo permite também calcular o Índice de Conforto Térmico Universal, (UTCI - *Universal Thermal Climate Index*) modelo proposto por Fiala et al. (2011) que considera o comportamento adaptativo em relação ao isolamento térmico a partir de estudos de campo desenvolvidos na Europa. No Brasil, o programa *SOLENE-microclimat* foi validado para a variável temperatura do ar interno por meio de experimento de medição e comparação dos resultados de simulação do programa, o que não será apresentado neste trabalho.

2. OBJETIVO

Este artigo tem como objetivo avaliar o impacto da vegetação e da arborização no conforto térmico interno e externo para o verão em um conjunto habitacional de interesse social, a partir de simulações computacionais no programa *SOLENE-microclimat* e analisar os resultados pelo modelo adaptativo de DeDear e Brager e pelo índice UTCI.

3. MÉTODO

O método deste trabalho está dividido em três etapas principais:

1. Caso de estudo, levantamento cartográfico e arquitetônico da área analisada;
2. Definição dos cenários e configurações adotadas para a simulação computacional com o modelo *SOLENE-microclimat*.
3. Dados de entrada e saída para fins de cálculo do conforto térmico – Índice de DeDear e Brager e UTCI.

3.1. Caso de estudo

Os edifícios analisados nessa pesquisa fazem parte do Programa de Aceleração do Governo Federal (PAC) que inclui obras de infraestrutura, transporte, saneamento e moradia. Teve como objetivo o reassentamento de famílias da Vila São José, situada na região Noroeste de Belo Horizonte, Minas Gerais (Figura 1), em função do prolongamento da Avenida Pedro II, que configura um importante eixo de ligação do município. Segundo a prefeitura de Belo Horizonte, foram instaladas 1536 unidades habitacionais.

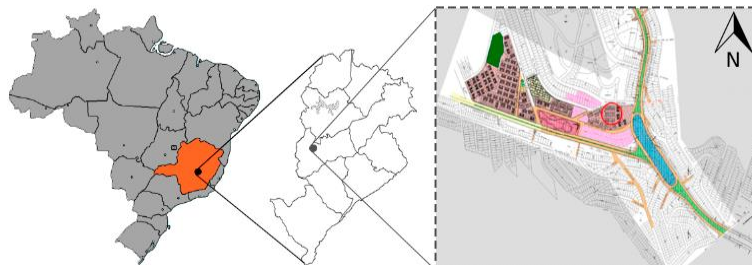


Figura 1 - Localização do caso de estudo – Fonte: Prefeitura de Belo Horizonte

Em Belo Horizonte, as edificações de reassentamento possuem projeto padronizado, ou seja, um mesmo projeto é utilizado em diversas regiões da cidade. As tipologias de 2 e 3 quartos foram utilizadas para o reassentamento da Vila São José. Caracterizam-se por edificações de quatro pavimentos, sendo no total 16 apartamentos. A figura 2 apresenta a planta dos apartamentos, sendo 01 e 02, apartamentos de 2 quartos e 45,5 m², 03 e 04, apartamentos de 3 quartos e 57 m².



Figura 2 - Planta tipo da edificação

De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região metropolitana de Belo Horizonte é o temperado úmido, com inverno seco e verão quente (ALVARES et al. 2013). Segundo a NBR 15220-3 (2005), o caso de estudo está localizado na zona bioclimática 3.

3.1.1. Caracterização do envelope

As paredes externas da tipologia são constituídas de alvenaria de bloco de concreto estrutural 14x19x39cm, argamassa externa 2cm, camada de gesso interna de 0,2cm e pintura, em geral, com alta absorvância, como mostra a figura 3. Nenhum dos apartamentos possui forro. A cobertura é composta por laje plana de 12cm e telha de fibrocimento de 0,6cm. O pé direito de cada unidade habitacional (UH) é de 260cm. Todos os cômodos possuem ventilação natural.



Figura 3 - Edifícios de reassentamento padrão 2 e 3 quartos

3.2. Definição dos cenários e configurações para a simulação

Foram simulados três diferentes cenários, o cenário atual (a), sem arborização e sem vegetação na maior parte do piso; O cenário (b) com o incremento somente da arborização e o cenário (c) considerando arborização e o piso todo vegetado, conforme mostra a figura 4.

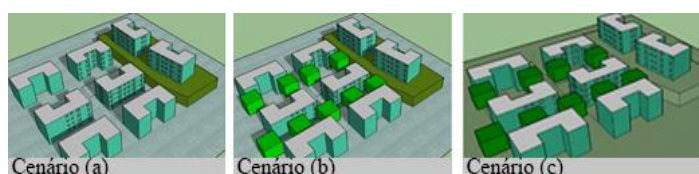


Figura 4 - Cenários simulados.

3.2.1 Configuração para simulação

A área selecionada para a simulação foi o edifício central do conjunto habitacional da Vila São José, conforme figura 5. Esta seleção se deu devido a possibilidade de analisar o impacto dos edifícios circundantes na temperatura interna do ar (tar) e na temperatura média radiante (t_{mr}) do edifício selecionado.

O *SOLENE-microclimat* considera apenas um edifício para os cálculos das variáveis internas (tar e t_{mr}). Os demais edifícios no qual as faces são visíveis ao edifício analisado são utilizados para efeito de cálculo da radiação e das interreflexões dos materiais, estimando o fluxo solar da cena urbana.



Figura 5 - Área selecionada para a simulação - Fonte: Adaptado google maps

3.3 Dados de entrada e saída para fins de cálculo do conforto térmico

3.3.1 Dados de entrada

As configurações para as simulações foram:

- Temperatura inicial de simulação: 21 graus - Com base nas normais climatológicas.
- Período simulado: 20/12 a 22/12 - Período analisado: Solstício de verão: 22/12
- Céu: parcialmente coberto
- Fluxo convectivo (HC) = 10,36 - O fluxo convectivo é considerado constante e é utilizado nos cálculos da resistência convectiva externa. É calculado por meio da equação 1, no qual (V_a) é a velocidade do ar em m/s. A velocidade do ar média considerada foi de 1,2m/s, de acordo com o limite máximo definido pela ASHRAE 55 (2013) em relação ao índice de conforto adaptativo de DeDear e Brager.

$$HC = 5,8 + 3,8V_a \text{ [W/m}^2\text{.K]}$$

Equação 1

- Latitude = -19°55' / Longitude = -43°93'
- Configuração da malha = Domínio: 10 metros; Edifícios A: 2metros; Edifício B: 1 metro (Figura 6) – A malha no *SOLENE-microclimat* foi testada em trabalhos anteriores por meio de testes de refinamento da malha. Esta configuração considerou o tempo de simulação e a concordância entre os resultados.
- Zona simulada = Conforto interno: Edifício central, todos os pavimentos. Conforto externo: Área próxima ao edifício central – Figura 6
- Zona analisada = Conforto interno: Edifício central terceiro pavimento – A escolha desse pavimento se deu por este ser considerado um pavimento onde não há influência direta da cobertura e do piso, por estar situado entre 5,5m a 8,25 m de altura, sendo possível verificar a influência das espécies arbóreas propostas neste trabalho (10 e 12 metros de altura)

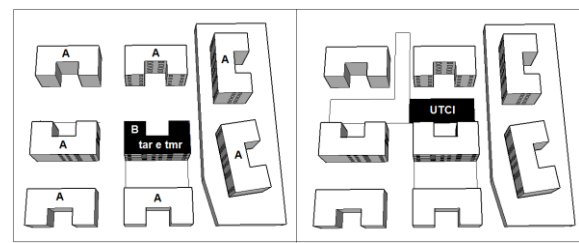


Figura 6 - Área onde foi analisado o índice UTCI e a Temperatura do ar interna e a temperatura média radiante interna

Para a avaliação da influência da vegetação no desempenho térmico do conjunto habitacional foi considerada uma média das características das espécies arbóreas, como: Transmitância óptica, altura das árvores, tamanho e volume das copas. Segundo a prefeitura de Belo Horizonte, a cidade possui cerca de 465 mil árvores que ultrapassam 510 espécies, porém não há dados disponíveis em relação a transmitância das espécies, sendo este um dos parâmetros de configuração no modelo computacional. Dessa forma, os valores foram calculados de acordo com uma derivação da Lei de Beer apresentada por Fagan (2013), por meio da equação 2, no qual a transmitância (T) é a fração da radiação transmitida (Energia total incidente à sombra - I).

$$T = I/I_0 \text{ ou } [\%] T = (I/I_0) \times 100$$

Equação 2

Os valores de Energia Total incidente ao sol (I_o) e Energia total incidente à sombra (I) utilizados para o cálculo de transmitância, foram retirados de medições realizadas em Campinas, através dos estudos realizados pelas autoras Bueno (1998) e Abreu (2008).

As autoras registraram a radiação solar através de solarímetros de tubo, modelo TSL-DELTA-T Devices, conectados a um integrador de coleta automática dos dados, modelo DL2- DELTA-T Devices. Estes equipamentos registraram a radiação incidente na faixa de 350nm a 2500nm e sua resposta espectral abrange a região do visível ao infra-vermelho de onda-curta.

Dentre as árvores analisadas por Bueno (1998) e Abreu (2008), as escolhidas foram: Jatobá, Ipê Roxo, Sibipiruna, Chuva de Ouro, Ipê Amarelo e Jambolão, espécies usualmente utilizadas na arborização urbana de Belo Horizonte. Devido às limitações do terreno e do programa *SOLENE-microclimat*, as configurações utilizadas para a modelagem da vegetação foram conforme tabela 01.

Tabela 1 - Características das espécies arbóreas

Espécie	Altura	Diâmetro da Copa	Transmitância
1	10	10	0,15
2	12	10	0,15

A tabela 2 apresenta os materiais utilizados para configuração dos parâmetros de entrada no modelo, as propriedades térmicas dos mesmos como: condutividade térmica, calor específico e densidade, foram retiradas da Norma de desempenho térmico NBR 15220.

Tabela 2 - Propriedade dos materiais

	Camadas/ materiais	Transmitância (%)	Emissividade	Albedo
Paredes externas	Argamassa = 2cm	0 (superfície opaca)	0,9	Cor Alecrim = 0,31
	Concreto = 14 cm			
	Gesso = 0,2cm			
Cobertura	Fibrocimento=0,6cm	0 (superfície opaca)	0,9	Telhas sujas = 0,15
	Ar= 6cm			
	Concreto = 12cm			
Piso do edifício em contato com o solo	Concreto =12cm	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
	Cerâmica = 1,5cm			
Janelas	Vidro 4 mm	70%	0,9	0,3
Pisos entre os pavimentos	Concreto =12cm	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
	Cerâmica = 1,5cm			

3.3.2 Dados de saída

O *SOLENE-microclimat* permite gerar resultados de temperatura do ar interno e de temperatura média radiante interna para uma edificação. O programa fornece ainda as temperaturas de superfície externa e a temperatura UTCI para uma determinada área.

Dentre os índices de conforto térmico existentes, o modelo adaptativo DeDear e Brager (2002) incorporado na ASHRAE 55 (2013) para ambientes naturalmente ventilados foi o escolhido para este trabalho pois relaciona a temperatura externa do ar com a temperatura operativa, sendo esta última uma relação entre a temperatura média radiante e a temperatura do ar, dados de saída do modelo *SOLENE-microclimat*. A temperatura UTCI, calculada automaticamente pelo programa, tem o conceito de temperatura equivalente e envolve as variáveis velocidade do ar a 10 metros de altura em m/s (V_a), temperatura do ar (°C) (t_{ar}), umidade relativa do ar expressa como pressão de vapor de água (v_p) e temperatura média radiante (t_{mr}).

4. RESULTADOS

4.1 Resultados Conforto térmico interno

Procurou-se avaliar o conforto térmico interno através de simulações comparando os resultados de três diferentes cenários, sendo estes: (a) A situação atual recorrente nos conjuntos habitacionais onde há pouca ou nenhuma vegetação no piso e sem arborização; (b) proposta de arborização; (c) proposta de arborização e vegetação no piso. O gráfico 1 mostra os resultados de temperatura operativa em relação à temperatura média externa do ar, de acordo com a faixa de conforto proposta pelo modelo de DeDear e Brager.

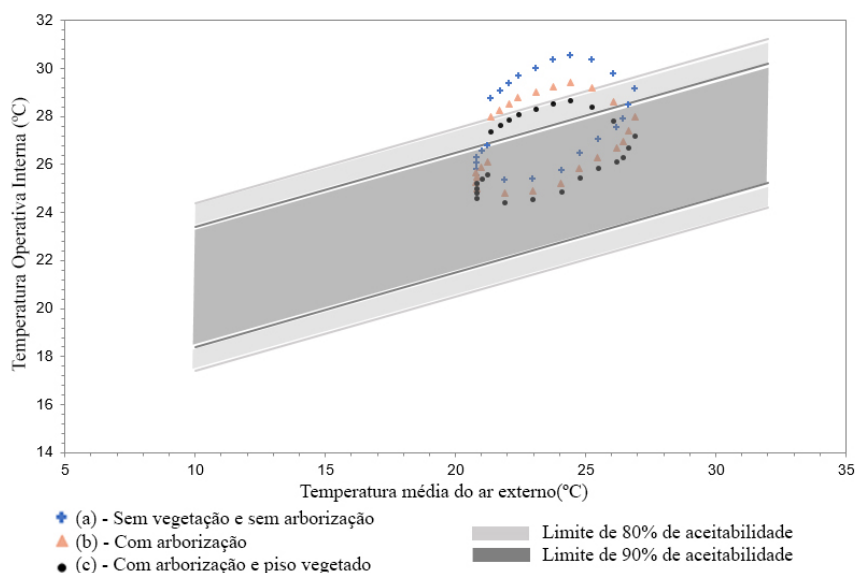


Gráfico 1- Resultados Conforto térmico interno.

O gráfico 2 apresenta a evolução, ao longo de 24 horas, da temperatura do ar interno simulada e a média da temperatura do ar externo em relação a faixa de temperatura de conforto e os limites aceitáveis de acordo com a ASHRAE 55 (2013).

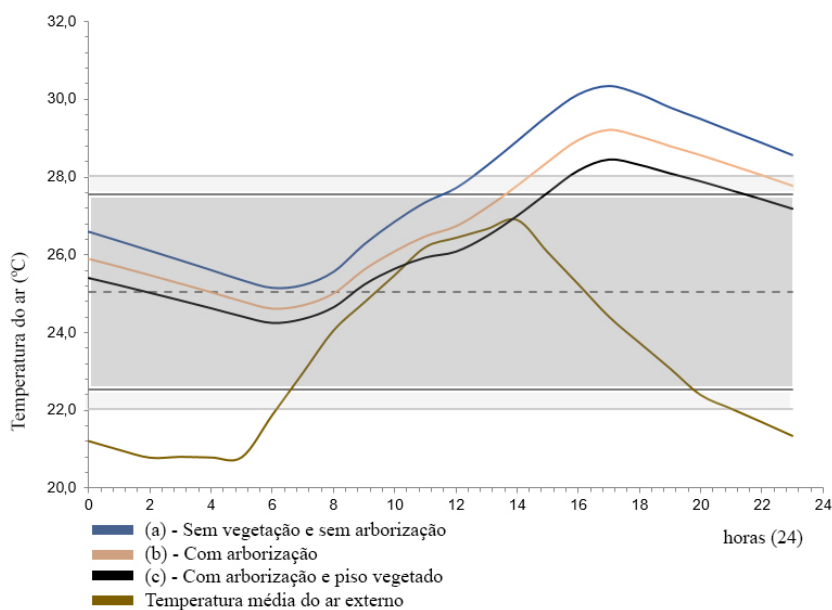


Gráfico 2 -Variação da temperatura do ar interno ao longo do dia.

O cenário atual (a), sem arborização e sem piso vegetado, apresentou desconforto térmico em relação ao índice adaptativo de DeDear e Brager, como mostra no gráfico 1. A temperatura operativa ultrapassou os limites da temperatura aceitável de conforto para 80% das pessoas. No gráfico 2, a temperatura do ar interno se manteve fora da faixa de conforto térmico por aproximadamente 12 horas. É possível observar que a análise normativa realizada por Nascentes (2012), apresentada na introdução desta pesquisa, que demonstrou que a edificação não atende aos requisitos mínimos da norma de desempenho NBR 15575 e que sua classificação seria “E” no RTQ-R, condiz com os resultados apresentados pelas simulações.

O cenário (b), no qual foi considerado arborização ao longo do conjunto habitacional, demonstrou uma melhoria em relação ao cenário atual. A temperatura operativa se manteve por mais tempo dentro da faixa de conforto, todavia, a solução não foi suficiente para classificar como confortável em relação ao índice analisado durante todo o período. Sobre a temperatura do ar interno representada no gráfico 2, observa-se que esta se manteve fora da faixa de conforto em aproximadamente 8 horas e meia durante o dia.

No cenário (c), arborização e piso vegetado, a temperatura operativa se manteve dentro da faixa de conforto térmico durante todo o período do dia, conforme pode ser observado no gráfico 1. A temperatura do ar interno apresentada no gráfico 2, se manteve fora da faixa de conforto em aproximadamente 4 horas.

Os resultados mostraram que o piso vegetado e a arborização influenciaram na temperatura operativa interna na edificação. Além disso, os dois recursos de forma conjunta foi suficiente para manter a temperatura na faixa de conforto e reduzir o tempo considerado como desconforto térmico ao longo do dia de 50% para 16% em relação à 80% de aceitabilidade.

4.2 Resultados Conforto térmico externo

A figura 7 mostra os resultados em forma de isocurva das temperaturas UTCI para três dos horários simulados: 9:00, 12:00 e 15:00. É possível observar a influência da vegetação e da arborização nos cenários analisados principalmente às 15 horas, devido ao sombreamento proporcionado pelas espécies arbóreas.

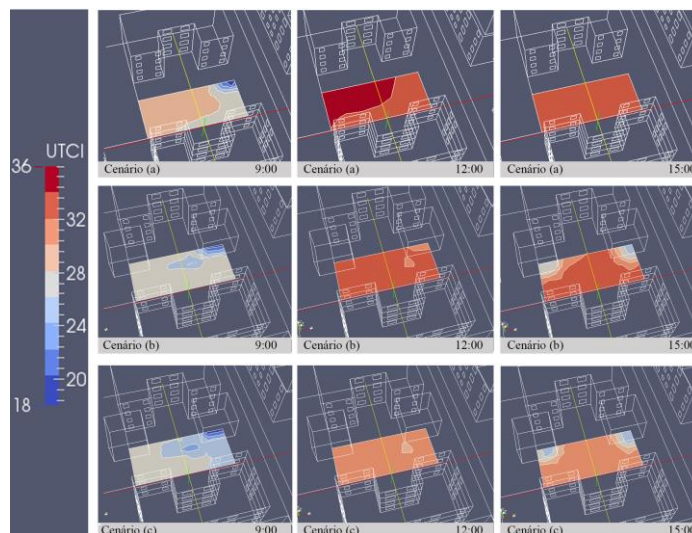


Figura 7 - Resultados das temperaturas UTCI, Isocurvas.

O gráfico 3 apresenta uma média aritmética dos valores de temperatura UTCI da área total considerada para o cálculo nos três cenários simulados, objetivando uma comparação geral de temperatura ao longo do dia. O cenário atual (a) apresentou-se na faixa de forte estresse de calor durante 21% do dia, no cenário (b) essa porcentagem caiu para 12% e no cenário (c) não houve forte estresse de calor. Entretanto a área total analisada se manteve durante todo o período diurno fora da faixa de conforto considerada pelo índice UTCI.

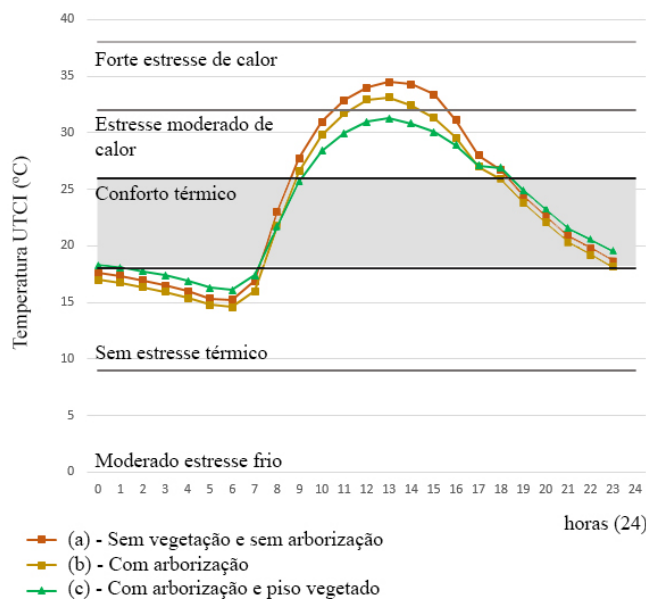


Gráfico 3- Resultados UTCI - Média de temperatura, variação horária.

A tabela 3 apresenta os valores médios de temperatura da área analisada para três horários do dia simulado: 09:00, 12:00 e 15:00. O cenário no qual foi proposta arborização e vegetação no piso (c), demonstrou uma redução na temperatura média da área total de 2°C no período da manhã, 3°C ao meio dia e 3,5°C às 15:00

em relação ao cenário atual (a).

Tabela 3 - Temperatura média UTCI às 9:00, 12:00 e 15:00.

Cenários	9:00	Estresse térmico UTCI
A - Sem árvores, piso asfalto	27,76°C	Estresse moderado de calor
B - Com árvores, piso asfalto	26,59°C	Estresse moderado de calor
C - Com árvores, piso vegetado	25,70°C	Conforto
	12:00	
A - Sem árvores, piso asfalto	33,97°C	Forte estresse de calor
B - Com árvores, piso asfalto	32,4°C	Forte estresse de calor
C - Com árvores, piso vegetado	30,99 °C	Estresse moderado de calor
	15:00	
A - Sem árvores, piso asfalto	33,38°C	Forte estresse de calor
B - Com árvores, piso asfalto	31,2°C	Estresse moderado de calor
C - Com árvores, piso vegetado	30,07 °C	Estresse moderado de calor

5. CONCLUSÕES

Este trabalho mostra uma comparação entre cenários distintos em relação ao conforto térmico interno e externo em um conjunto habitacional de interesse social, simulados a partir do programa *SOLENE-microclimat*. Com os resultados obtidos é possível verificar o impacto da vegetação e da arborização nas faixas de conforto térmico UTCI e no modelo de DeDear e Brager. Concluiu-se que o sombreamento proporcionado pela arborização aumenta a sensação de conforto térmico externo e interno e altera a temperatura interna do ar e a temperatura média radiante dentro das edificações. A implantação de árvores juntamente com a substituição do solo mineral por vegetal são recursos que podem ser utilizados em conjunto, visando maior conforto térmico em conjuntos habitacionais.

Os resultados estão de acordo com pesquisas já realizadas na área, que demonstraram a capacidade de atenuação da radiação solar propiciada por meio da arborização. Dentre os limites do trabalho, destaca-se a limitação em relação a utilização das árvores, pela dificuldade de implantação no terreno devido à falta de planejamento prévio, pela escassez de dados em relação às espécies e pelo modelo *SOLENE-microclimat* não permitir definir características como: transmitância óptica e albedo para mais de uma espécie, devendo estas características serem consideradas iguais para todas as diferentes geometrias arbóreas. Com isso, o trabalho limitou-se a especificação de espécies citadas em trabalhos anteriores e ficou restrito à um posicionamento arbóreo que não atendeu adequadamente ao sombreamento de áreas nas quais recebiam radiação solar direta. Um estudo mais aprofundado em relação a implantação de diferentes espécies arbóreas e uma maior liberdade de posicionamento das mesmas poderiam ter gerado resultados mais satisfatórios.

Com essas análises, observou-se a importância de um estudo mais detalhado visando o conforto térmico em fase de projeto, principalmente em climas quentes e úmidos e em situações onde a possibilidade de se usar um sistema de refrigeração do ar é mínima. Cada situação é diferenciada, fatores como inclinação do terreno e número de famílias removidas influenciam na quantidade e no posicionamento dos edifícios, porém o uso da vegetação de forma adequada, visando o sombreamento de áreas onde a radiação solar é direta, são estratégias simples que podem proporcionar maior conforto térmico para os usuários e deveriam ser utilizadas como parâmetros iniciais de projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2**: Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005a.
- _____. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social. Rio de Janeiro, 2005b.
- _____. **NBR 15575**: Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013
- _____. **NBR 15575**: Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 4: Requisitos para os Sistemas de Vedações Verticais internas e externas. Rio de Janeiro, 2013
- _____. **NBR 15575**: Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 5: Requisitos para os Sistemas de Coberturas. Rio de Janeiro, 2013
- ABREU, L. V. de M. **Avaliação da escala de influência da vegetação no microclima por diferentes espécies arbóreas**. Dissertação de mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, 2008.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. **Köppen's climate classification map for Brazil**. *Meteorologische Zeitschrift* (em inglês). v.22, n.6, P. 711–728, dez. 2013.

- ASHRAE – AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. 2013 **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**, Atlanta, 2013.
- BOUYER, J. **Modélisation et simulation des microclimats urbains Étude de l'impact de l'aménagement urbain sur les consommations énergétiques des bâtiments**. 324f. Tese (Doutorado em Ambiances Architecturales et Urbaines), École polytechnique de l'Université de Nantes, Nantes, 2009.
- BUENO, C. L. **Estudo da atenuação da radiação solar incidente por diferentes espécies arbóreas**, 1998. 177 f. Dissertação de mestrado, Departamento de Engenharia Civil - Faculdade de Engenharia Civil da UNICAMP, Campinas 1998.
- DEDEAR, R. J.; BRAGER, G. S. **Thermal Comfort in Naturally Ventilated Buildings: revisions to ASHRAE Standard 55**. Energy and Buildings, v. 34, n.6, p.549-561, jul. 2002.
- FAGAN, E. B.; MIQUELANTI, N. P.; BONFIM, T. S.; PEREIRA, I. S.; CORRÊA, L; T.; SOARES, J. N.; **Lei de Beer e sua relação com ecofisiologia de plantas**. Revista do Centro Universitário de Patos de Minas, Patos de Minas, UNIPAM, n. 4, P. 78-97, nov. 2013.
- FIALA, D.; HAVENITH G.; BRODE P.; KAMPMANN, B.; JENDRITZKY, G. **UTCI-Fiala Multi-Node Model of Human Heat Transfer and Temperature Regulation**. International Journal of Biometeorology, special issue UTCI, 2011.
- GOMES, M. A S; AMORIM, M. C.C.T. **Arborização e conforto térmico no espaço urbano: estudo de casos nas praças públicas de Presidente Prudente (SP)**. Caminhos de Geografia - revista on line, Instituto de Geografia da UFU, 2003.
- GROLEAU, D. **Solene un outil de simulation des éclairagements solaires et lumineux dans les projets architecturaux et urbains**. In: Les professionnels de la Construction - Confort intérieur : Outils informatiques d'aide à la conception et à la prévision du confort thermique, acoustique et d'éclairage, Nantes, França, 2000.
- LIMA, G.; PEDRINI, A.; ALVES, A. Avaliação do desempenho térmico de uma habitação de interesse social localizada no clima quente e úmido da cidade de Paramirim/RN com base no método de simulação do RTQ-R. In: XIV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Juiz de Fora, 2012, **Anais... XIV ENCAC 2012**. CD-ROM.
- MALYS, L. **Évaluation des impacts directs et indirects des façades et des toitures végétales sur le comportement thermique des bâtiments**. 238 f. Tese (Doutorado em Ciências da engenharia, geociências e arquitetura), l'Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes, Nantes, 2012.
- MALYS, L.; MUSY, M.; INARD, C. **Direct and Indirect Impacts of Vegetation on Building Comfort: A Comparative Study of Lawns, Green Walls and Green Roofs**. Energies jornal. v. 9, n. 32, jan. 2016
- NASCENTES, N. C. S. **Análise da envoltória pela norma de desempenho – ABNT NBR 15575-4 e RTQ-R da tipologia de edifícios de habitação de interesse social em Belo Horizonte – MG**. Especialização em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável, Universidade Federal de Minas Gerais, 2012.
- ORSI, R. **(Des) Conforto Térmico e qualidade de vida em Conjuntos Habitacionais Periféricos construídos através do Programa Minha Casa Minha Vida**. 7º Congresso Luso-Brasileiro para o planejamento urbano, regional e sustentável, Pluris 2016, Maceió. Disponível em: < <http://www.fau.ufal.br/evento/pluris2016>>. Acesso em: março. 2017.
- ROBITU, M. **Etude de l'interaction entre le bâtiment et son environnement urbain: influence sur les conditions de confort en espaces extérieurs**. 249 f. Tese (Doutorado em Ciências da engenharia) Ecole Polytechnique de l'Université de Nantes, France, 2005.
- SILVA, N. L. DA. **Análise dos parâmetros de conforto térmico em Habitações Populares de um conjunto em João Pessoa/ PB**. Departamento de Engenharia de Produção, Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2015.
- STENSJÖ, I. P. Método de análise comparativa de índices de conforto térmico para o Brasil In: XIII Encontro Nacional e IX Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído, **Anais... ENCAC – ELACAC 2015**. CD-ROOM
- VINET J., RAYMOND F., INARD C. A simulation tool to assess the impact of vegetation on the urban microclimate. In: International building Physics conference: tools for design and engineering of buildings proceedings, 2000, Montpellier. **Anais...** Editora: IBPC 2000, Montpellier, França, 2000.
- XAVIER, A. L. **Estudo da utilização dos softwares EnergyPlus e Desktop Radiance na cidade de Cuiabá – MT**. Dissertação de mestrado, Departamento de Física e Meio Ambiente, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2008.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão da bolsa durante parte do período de realização deste trabalho; Aos projetos de pesquisa CNPq 40037379/2010-4 e FAPEMIG TEC-APQ-00146-12, através dos quais a instrumentação foi adquirida; À Analógica Instrumentação e Controle Ltda, pelo apoio na montagem e monitoramento de dados; Ao laboratório CRENAU (Centre de Recherche Architectures Urbanités Nantais) pela cessão de uso do programa *SOLENE-microclimat*, treinamento e orientação na sua aplicação.