XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído
JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

AVALIAÇÃO MICROCLIMÁTICA PELO PROGRAMA ENVI-MET: O CASO DO CENTRO URBANO DE COLATINA - ES

Eloiza Baleeiro dos Santos (1); Alexandre Cypreste Amorim (2); Renata Mattos Simões
(1) Arquitetura e Urbanista, elobaleeiro@gmail.com, instituição ou empresa, endereço de correspondência, telefone de contato
(2) Mestre, docente, cypreste@ifes.edu.br, Instituto Federal do Espírito Santo, endereço de correspondência, telefone de contato
(3) Mestre, docente, renatamattos@ifes.edu.br, Instituto Federal do Espírito Santo, endereço de correspondência, telefone de contato

RESUMO
O modo negligente de se edificar o espaço urbano tem promovido significativas mudanças. A desconexão na forma de se pensar a morfologia e o clima gera situações adversas, podendo assim, agravar os efeitos de um clima regional que, por si só, já possui elevadas temperaturas em determinadas épocas do ano. Através dessa perspectiva, o presente trabalho busca de forma analítica e descritiva investigar a interferência dos elementos morfológicos no microclima partindo de um recorte da região central da cidade de Colatina-ES. Relacionando desse modo, a importância do planejamento urbano para a obtenção de níveis agradáveis de conforto térmico para o usuário da cidade. O procedimento metodológico envolve simulações microclimáticas de três cenários distintos através do software ENVI-Met 4.3.2. Como produto, o programa oferece mapas referentes a temperatura, umidade, velocidade dos ventos e o voto médio predito dos usuários. Após gerados os mapas, dados pontuais foram extraídos de forma randômica ao longo do cenário para análises comparativas mais aprofundadas. Por conseguinte, o índice de conforto térmico dos usuários foi avaliado através do índice de desconforto térmico (IDT), do voto médio predito (PMV) e da temperatura efetiva em função do vento (TEv). Para todos os horários analisados, o primeiro cenário urbano, referente a configuração morfológica atual, apresentou os dados mais críticos. De modo inverso, a aplicação da taxa de porosidade permitiu que o terceiro cenário apresentasse temperaturas mais uniformes e sensações térmicas mais agradáveis. Tais resultados revelam a importância do sombreamento e da ventilação para a redução dos sintomas de calor urbano e a obtenção de sensações térmicas mais agradáveis para os usuários.
Palavras-chave: Conforto térmico, calor urbano, microclima, ENVI-met.

ABSTRACT
The negligent way of building cities has promoted significant space changes. The disjointed treatment between morphology and climate generates adverse situations, and can thus, aggravate the effect of a regional climate that naturally promotes high temperatures in some months of the year. From this perspective, the present work seeks to analytically and descriptively investigate the interference of morphologic elements in the microclimate of a section of the central region of the city of Colatina – ES. Relating this way, the importance of urban planning to obtain pleasant levels of thermal comfort for the population. The methodological procedure involves microclimate simulations of three different scenarios through the software ENVI-met 4.3.2. As a product, the program offers maps regarding temperature, humidity, wind speed and the predicted mean vote of users. After generating the maps, point data were extracted randomly throughout the scenario for further comparative analyses. Therefore, the thermal comfort index of the users were evaluated through the index of thermal discomfort (IDT), the mean vote of users (PMV) and the effective temperature as a fiction of the wind (TEv). For all the analyzed schedules, the first urban scenario, referring to the current morphologic configuration, presented the most critical data. Conversely, the application of the porosity rate allowed the third scenario to present more uniform temperature and pleasant thermal sensations. These results reveal the importance of shading and ventilation for the reduction of urban heat symptoms and the achievement of more pleasant thermal sensations for users.
Keywords: Thermal comfort, urban heat microclimate, ENVI-met.

1. INTRODUÇÃO

O processo de urbanização provoca a alteração da paisagem natural por uma paisagem edificada. A materialização da urbe produz efeitos que alteram substancialmente os ecossistemas naturais e propicia condições climáticas, sociais e morfológicas diferentes de áreas não urbanas. Dessa forma, o clima urbano pode ser entendido como "[...] o resultado das modificações causadas pelo processo de urbanização da superfície terrestre e da interferência dessa urbanização nas características da atmosfera de um determinado local" (OKE,1987 apud. CALLEJAS et al., 2011).

Para Silva (2009), os grandes problemas urbanos são ocasionados pelo contínuo tratamento desconexo entre clima, configuração urbana e vegetação. De modo semelhante, Lechner (2015) afirma que diversos fatores podem modificar o clima local, de forma resumida, pode-se dizer que a morfologia do solo, da paisagem e da forma urbana são fatores que condicionam o microclima. Quando tais elementos não interagem de forma coesa, as cidades passam a enfrentar os efeitos negativos do clima urbano.

Como resposta imediata às modificações sofridas pela urbe, os usuários passam a sentir desconfortos adicionais, reflexos de um clima urbano em desequilíbrio. Para Barbirato, Souza e Torres (2007), os diversos estudos existentes comprovam o quanto que a qualidade da vida humana está relacionada à interferência da ação do homem no meio urbano. Desse modo, Souza e Nery (2012) afirmam que as variáveis individuais e ambientais podem influenciar no conforto térmico dos indivíduos. Dentre as variáveis ambientais os autores destacam a temperatura, umidade relativa e a velocidade dos ventos; entre as individuais existem as características das vestimentas e do metabolismo individual.

Visto dessa forma, a problemática que antes era um fenômeno exclusivo de grandes metrópoles, passa a gerar efeitos em cidades suburbanas. Meriguete et al. (2017), ao estudar a cidade de Colatina-ES, detectaram possíveis sintomas do fenômeno de ilhas de calor em pontos distintos da região central do município. As análises comparativas entre as principais avenidas do centro com o *campus* do Instituto Federal do Espírito Santos (Ifes), localizado na franja urbana da cidade, atingiram diferenças entre as temperaturas máximas registradas, de até 8,6ºC em determinados horários.

Sendo assim, o presente estudo se volta para a análise microclimática de um trecho central da cidade de Colatina-ES. Propõe-se a estudar de forma mais pontual as características dessa região, buscando relacionar a importância do planejamento urbano para a obtenção de níveis agradáveis de conforto térmico para a população através da simulação e análise de diferentes cenários.

2. OBJETIVO

Investigar, através de simulações, a interferência que a morfologia urbana causa no microclima de uma parcela da área do centro de Colatina-ES, em diferentes cenários.

3. MÉTODO

3.1. Objeto de estudo

Localizada na região noroeste do estado capixaba, Colatina conta com 124.525 mil habitantes distribuídos em um território de 1.416,804 km² (IBGE, 2018). De acordo com a Prefeitura Municipal de Colatina, 88% da população vive em área urbana e 12%, na zona rural. Predomina o clima quente e úmido com inverno seco, típico do vale do rio Doce (PMC, 2018). A sua temperatura média é de 24,1ºC e está classificada segundo Köppen, como Aw, sendo o clima tropical com estação seca de inverno (CPRM, 2014).

O objeto escolhido para avaliação microclimática do presente estudo foi uma amostra que abarca parte da região central da cidade. O centro representa a área mais urbanizada, edificada e adensada do município, é caracterizada por uma grande quantidade de edificações antigas, sem afastamento lateral ou frontal e com gabarito médio predominante de 2 a 5 pavimentos. Trata-se de uma região com grande fluxo de veículos e pedestres, que concentra não só o comércio e serviço local, mas também residências e algumas áreas livres pouco exploradas pelo poder público.

A região amostral foi determinada através de visitas a campo e análise de imagens de satélite por meio da ferramenta Google Earth (Figura 1). A seleção do recorte urbano, envolvendo a Praça Municipal foi motivada pelo interesse em compreender a influência que o espaço de uso público, em meio às quadras edificadas, exercia no microclima local. Ao mesmo tempo, o sítio deveria conter características que representassem a unidade de paisagem do centro. Visto dessa forma, buscou-se estender a área de influência da Praça Municipal para abarcar uma extensão maior do centro, podendo então, representar melhor o local através de uma amostra.

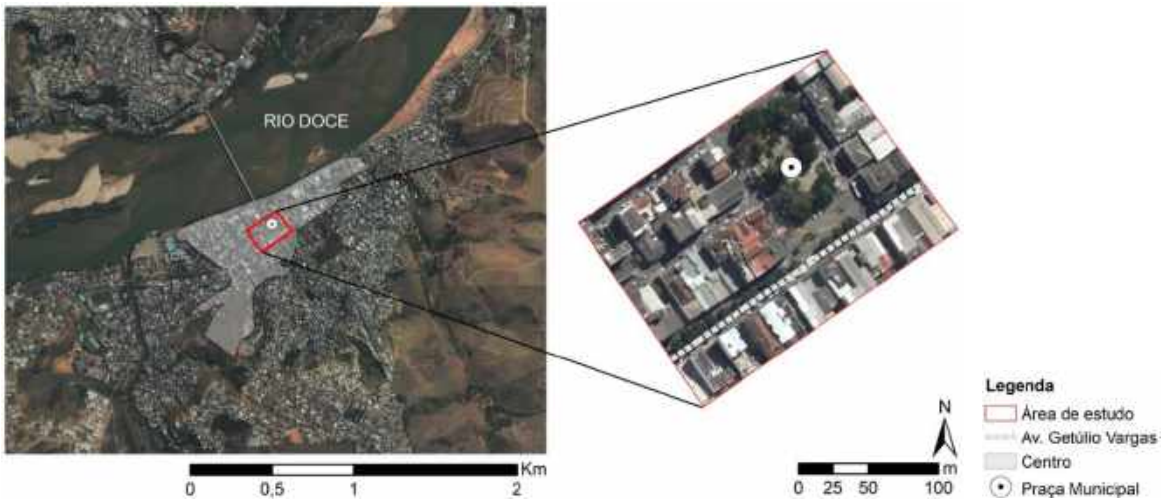

Figura 1 – Poligonal da região amostral para estudo.

3.2. Simulação dos modelos e modelagem microclimática

Neste estudo foi utilizado o software ENVI-met versão 4.3.2 para simular o desempenho ambiental da área selecionada. O programa microclimático tridimensional simula as interações entre superfícies, atmosfera e vegetação em uma escala reduzida. Entre os parâmetros existentes, foram extraídos do modelo dados referentes à temperatura do ar, velocidade dos ventos, umidade relativa, além do índice PMV(do inglês *Predictedmean vote*); todos disponíveis na versão gratuita do programa, o Basic.

Após a identificação da área de estudo, foram propostos três cenários urbanos. O primeiro reproduz o sítio em seu estado atual, o segundo e terceiro apresentam previsões de um espaço futuro com maior verticalização e adensamento.

3.2.1. Primeiro cenário urbano

Como já explanado, a escolha da área de estudo foi através da ferramenta Google Earth e de visitas a campo, de forma semelhante foi feito o levantamento de dados acerca das características do primeiro cenário.


Figura 2 – Modelagem do primeiro cenário urbano em 3D.

Foram levantados dados de gabarito das edificações, tipos de cobertura do solo, além da densidade e forma das massas vegetadas. Os materiais adotados para o modelo foram selecionados de modo que fosse o mais próximo ao existente. A Figura 2 apresenta a configuração do primeiro cenário urbano.

3.2.2.. Segundo cenário urbano

O segundo cenário urbano prevê um espaço com o gabarito mais elevado, seguindo o que é atualmente permitido pelo zoneamento. De acordo com o Plano Diretor Municipal de Colatina (Lei nº 5273, de março de 2007), a região do centro é classificada como zona de uso diverso 2 (ZUD-2), nela fica permitido o uso residencial, misto e comercial.

Tratando-se de gabarito máximo, a zona não estabelece um limite a ser tolerado; dessa forma, fica livre desde que atenda os demais índices urbanísticos. Na primeira observação referente a ZUD-2, a Lei nos traz que o primeiro pavimento, não um subsolo, poderá ocupar toda a área remanescente do terreno; fica permitido também, a ocupação de toda a área do segundo ao quinto pavimento. Ainda conforme o Plano Diretor Municipal (2007), no bairro centro o afastamento frontal não será exigido e o coeficiente de aproveitamento máximo poderá ser de 7.

Visto dessa forma, para estabelecer um gabarito máximo para as edificações, os cálculos dos índices urbanísticos foram feitos de acordo com uma média dos lotes existentes no cenário atual. Adotou-se então um lote padrão de 300m²; do primeiro ao quinto pavimento foi considerado o aproveitamento total do lote, para os demais gabaritos adicionou-se os afastamentos laterais. O afastamento nos fundos foi desconsiderado já que grande parte dos edifícios existentes não contam com tal recuo. A partir dos índices considerados obteve-se um gabarito de 7 pavimentos.

Os materiais empregados para a cobertura do solo no modelo tridimensional permaneceram os mesmos do cenário 1, mantiveram-se também os modelos de vegetação adotados. Diferente do primeiro cenário (Figura 3), o segundo, conta com um gabarito mais elevado e apresenta o aproveitamento total do lote.

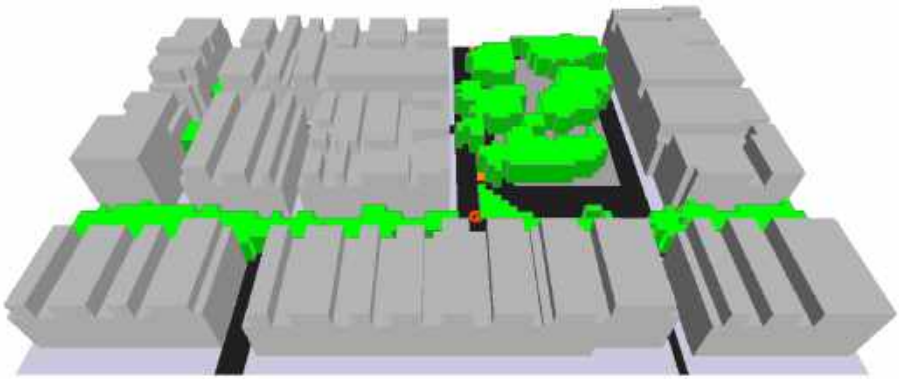

Figura 3 – Modelagem do segundo cenário urbano em 3D.

3.2.3. Terceiro cenário urbano

O terceiro cenário segue a proposta de mitigação sugerida por Meriguete (2017) para o centro urbano de Colatina. Segundo a autora, o não estabelecimento de um gabarito máximo para a Zona de Uso Diverso 2 poderá, no futuro, ser um grande problema para a região. A problemática parte do princípio que o aumento desenfreado no gabarito urbano influencia de forma direta no fluxo de ventos e no armazenamento de calor.

Dessa forma, Meriguete (2017) faz um alerta sobre a influência negativa que os atuais índices apresentam para o desenho urbano de Colatina, sendo necessário então, uma legislação mais eficiente que atue em favor a qualidade urbana. Para isso, a autora sugere que sejam exigidos os afastamentos necessários e que se evite o contínuo surgimento de quadras adensadas em níveis próximos à rua. Além disso, é sugerida a criação de um índice não previsto na legislação existente, intitulado "taxa de porosidade".

A autora, porém, não estabelece um percentual a ser adotado para a taxa de porosidade. A partir disso, estabeleceu-se, para esse trabalho, uma taxa mínima de 15% que deve ser implementada no primeiro ao segundo pavimento; priorizando assim, a ventilação mais próxima ao nível do pedestre. O estabelecimento de 15% para a taxa de porosidade parte da intenção de incentivar a criação de pavimentos livres ao longo do edifício; visto que, através das taxas permitidas pelo Plano Diretor vigente a porcentagem corresponde a aproximadamente um pavimento, se considerada a ocupação total do lote.

A Figura 4 ilustra a composição completa do terceiro cenário urbano. Por limitações do programa, o modelo considera apenas a aplicação da taxa de porosidade no nível térreo através de pilotis livres. Apesar da estrutura livre apresentar índices mais interessantes ao nível do pedestre, a sua aplicação real na área de estudo apresenta limitações, já que se trata de uma área comercial; porém esse fato foi desconsiderado nessa fase posto que o objetivo era se verificar o quanto a ventilação poderia interferir no conforto urbano.

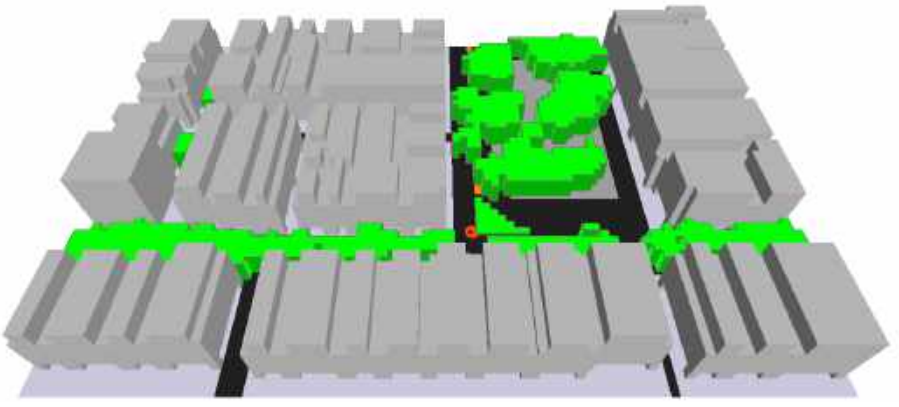

Figura 4 – Modelagem do segundo cenário urbano em 3D.

3.3. Análise dos dados

Para a análise da região amostral, faz-se uso de estudos comparativos entre diferentes horários e cenários por meio dos mapas extraídos pelo plugin Leonardo com os diferentes parâmetros de velocidade dos ventos, temperatura relativa e umidade do ar, além do PMV. Seguindo a recomendação da Organização Meteorológica Mundial, foram definidos para o estudo os horários de 9h, 15h e 21h (SILVA, 2009).

Após as simulações, foram estabelecidos 12 pontos distintos, eleitos de forma randômica ao longo da amostra para a extração de dados pontuais de temperatura e umidade. A partir dos dados coletados, foi feita a classificação dos pontos segundo o índice de desconforto térmico (IDT) utilizado por Santos e Amorim (2018).

O índice criado por Thom (1959) e adaptado para a cidade de João Pessoa – PB por Santos et al. (2012), determina em graus Celsius o nível de desconforto para as diversas combinações de temperatura e umidade relativa do ar, classificando desde confortável até o índice muito desconfortável. Para encontrar o índice se utilizou a fórmula constante na Equação 1 (LEAL et al., 2017):

$$IDT = Ta - (0{,}55 - 0{,}0055 * UR) * (Ta - 14{,}5) \quad \text{Equação 1}$$

Onde, Ta é temperatura do ar (ºC) e UR é umidade relativa (%). A Tabela 1 apresenta as faixas de sensações térmicas do IDT. O índice não considera o desconforto ocasionado pelo frio, desprezando assim as sensações abaixo de 24ºC.

Tabela 1 – Faixas de sensações térmicas do IDT (Santos e Amorim, 2018 adaptado Santos et al., 2018).

Faixas	IDT(ºC)	Nível de desconforto térmico
1	IDT < 24,0	Confortável
2	24 ≤ IDT ≤ 26,0	Parcialmente confortável
3	26 < IDT < 28,0	Desconfortável
4	IDT ≥ 28,0	Muito Desconfortável

Em todos os cenários, foram extraídos os dados de temperatura e umidade do ar para a classificação segundo o IDT. De modo semelhante, dados referentes ao índice PMV foram extraídos dos 12 pontos eleitos.

Criado por Fanger em 1972, o PMV correlaciona as sensações dos usuários através de quatro variáveis ambientais sendo elas: a temperatura, a umidade do ar, temperatura radiante média e a velocidade dos ventos. Além das variáveis citadas, o índice considera também a vestimenta e a atividade metabólica do usuário (LIMA et al, 2005). Trata-se de uma classificação numérica que traduz a sensibilidade humana em uma escala que permuta entre -3 a +3, onde o conforto térmico é indicado pelo PMV 0, o frio através dos valores negativos e o calor pelos valores positivos.

Para a simulação do parâmetro biometeorológico PMV, foram inseridos dados referentes a um humano adulto do sexo masculino, com idade de 35 anos, 1,75m de altura e peso de 80kg. A escolha da idade do usuário partiu do preceito de que a faixa etária entre 35 e 40 anos caracteriza um indivíduo de idade média.

De acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (2014), a estimativa do equivalente metabólico (MET) para um homem adulto caminhando é de 300w. Dessa forma, foi adotada uma velocidade média de 1m/s, correspondendo a uma caminhada tranquila ao longo do trecho. Ainda segundo os autores, a resistência térmica de vestimentas leves segundo o índice clo é de 0,5.

É importante ressaltar que os pontos estabelecidos se mantiveram constantes. A Figura 5 apresenta o posicionamento dos 12 pontos na região amostral.

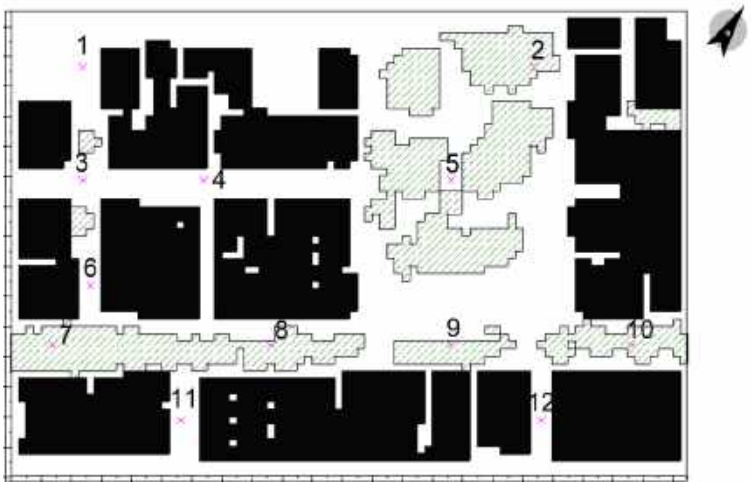

Figura 5 – Localização dos 12 pontos ao longo do cenário

Por fim, ao interpolar os dados de PMV e IDT, percebeu-se a necessidade de incluir um índice de conforto a mais

para uma análise mais apurada a respeito da influência da ventilação para o conforto humano. Desse modo, a temperatura efetiva em função do vento (TEv) também foi analisada. O índice TEv estabelece onze faixas distintas de níveis de conforto através de uma relação entre os dados de temperatura, velocidade e umidade do ar. A Equação 2 (LEAL et al., 2017) apresenta a fórmula aplicada para se obter o índice de temperatura efetiva em função do vento.

$$TEv = 37 - \{(37-Ta)/ [0.68-(0.0014*UR) + (1/ (1.76+1.4*v^{0.75})]\} - \{0.29*a*[1- (UR/100)]\} \quad \text{Equação 2}$$

Onde, Ta é a temperatura do ar (ºC), UR é a umidade relativa (%) e v é a velocidade dos ventos (m/s). A Tabela 2 apresenta a classificação das faixas de sensações térmicas segundo o TEv.

Tabela 2 – Faixas de sensações térmicas do TEv (adaptado de MASTER, 2018).

Faixas	Tev (°C)	Sensação Térmica (Tipo de CT)	Grau de estresse fisiológico
1	< 05	Muito Frio (MMFF)	Extremo estresse ao frio
2	05 ├– 10	Frio (FF)	Extremo estresse ao frio
3	10 ├– 13	Moderadamente Frio (MFF)	Tiritar
4	13 ├– 16	Ligeiramente Frio (LFF)	Resfriamento do corpo
5	16 ├– 19	Pouco Frio (PFF)	Ligeiro resfriamento do corpo
6	19 ├– 22	Ligeiramente fresco (LF)	Vasoconstrição
7	22 ├– 25	Confortável (C)	Neutralidade térmica
8	25 ├– 28	Ligeiramente quente (LQ)	Ligeiro suor; vasodilatação
9	28 ├– 31	Quente Moderado (QM)	Suando
10	31 ├– 34	Quente (Q)	Suor em profusão
11	> 34	Muito quente (MQ)	Falha na termoregulação

4. RESULTADOS

Os gráficos 1,2 e 3 apresentam os dados referentes ao voto médio predito para um usuário de idade média vestido com roupas leves em uma caminhada tranquila ao longo do perímetro urbano definido. É perceptível que o conforto do usuário tende a aumentar do primeiro ao último cenário, contudo, em nenhuma das simulações a amostra apresentou PMV 0, indicando sensações psicológicas de neutralidade térmica.

Os dados pontuais, extraídos dos cenários, permitem uma análise mais apurada a respeito do voto médio predito. Dessa forma, através dos resultados para o horário das 9h, é possível dizer que em nenhum dos pontos houve sensações de conforto, sendo o primeiro cenário o que apresentou os dados mais críticos no geral, indicando um usuário com sensações psicológicas de muito calor em relação ao ambiente (Figura 6).

Para o período da manhã, o ponto 3 foi o que indicou o maior desconforto, apontando 4,48 de PMV (muito quente). De modo inverso, o ponto 12 apresentou PMV de 2,58 indicando, segundo a classificação, um cenário quente. Os dados apresentados correspondem, respectivamente, ao primeiro e ao terceiro cenário urbano. No total analisado, os pontos 3 e 4 apresentam as piores sensações para o usuário em todos os cenários, segundo o PMV. Já os pontos 1 e 12 apresentam os melhores resultados, apesar de ainda indicarem sensações de calor.

Às 15h, todos os pontos apresentaram PMV acima de 3, indicando dessa forma um cenário muito quente (Figura 7). A sensação máxima de desconforto ocorreu no ponto 1 durante o primeiro cenário e apontou aproximadamente 6 de PMV. A diferença entre os outros cenários para o mesmo local aponta cerca de 2 PMV.

Durante a tarde, o ponto 12 surge novamente com o menos desconfortável do cenário, indicando PMV de 3,57. Tal fenômeno se repete novamente às 21h (Figura 8), e pode estar relacionado com a maior disposição do ponto em sofrer com o efeito da ventilação, uma vez que está localizado em um canal que dispõe de maiores velocidades dos ventos.

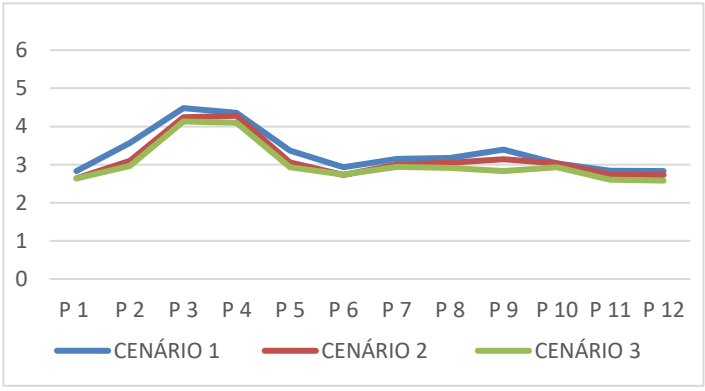

Figura 6 – Voto médio predito dos 12 pontos estabelecidos no cenário as 9h.

Durante à noite, os usuários tendem a apresentar a sensação psicológica de um ambiente quente, todos os pontos beiram 2 de PMV. O ponto 10 apresenta as maiores sensações térmicas do horário.

Quanto classificação segundo o índice de desconforto térmico (IDT), o terceiro cenário foi o que apresentou mais pontos confortáveis para o período da manhã. O único ponto que se "manteve fora da curva" foi o 5, que, para o horário, apresentou o índice parcialmente confortável. De modo geral nenhum dos cenários apresentou sensações de desconforto para o usuário.

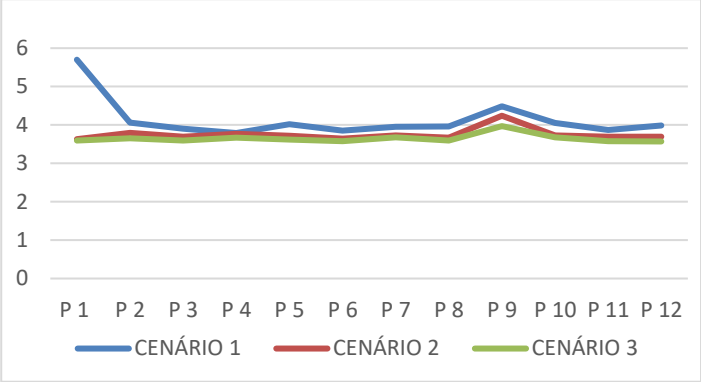

Figura 7 – Voto médio predito dos 12 pontos estabelecidos no cenário as 15h.

A Figura 9 apresenta os dados obtidos para cada ponto, durante o período diurno, a partir do IDT. Para simplificar a representação gráfica as classificações confortável, parcialmente confortável, desconfortável e muito desconfortável foram traduzidas, respectivamente para os números 1, 2, 3 e 4.

Às 15h, em todos os cenários, 100% dos pontos obtiveram o índice parcialmente desconfortável (Figura 10). De modo semelhante, às 21h todos os cenários apresentaram 100% de pontos confortáveis (Figura 11).

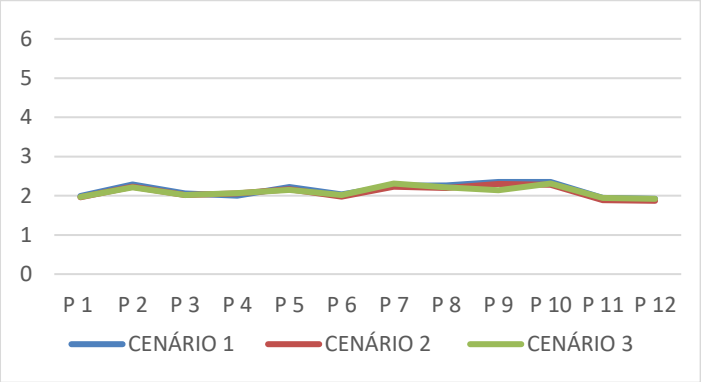

Figura 8 – Voto médio predito dos 12 pontos estabelecidos no cenário as 21h.

Interpolando os dados obtidos através dos dois índices de conforto, o que se tem como resultado são duas classificações muito diferentes. Segundo o voto médio predito, em todos os horários, os cenários apresentam sensações psicológicas de calor ou muito calor para os usuários. Enquanto o índice de desconforto térmico apresenta em todos os cenários, índices que variam entre confortável e parcialmente confortável.

Tal discrepância pode ser justificada, principalmente, pelo fato de que a classificação elaborada por Fanger (1972) determina que as preferências térmicas são as mesmas para todos os seres humanos, independente de localização geográfica ou clima. Dessa forma, existe o consenso entre pesquisadores de que o modelo não se aplica adequadamente para regiões tropicais, uma vez que considera um cenário agradável segundo as sensações de indivíduos do hemisfério norte, adaptados a climas mais frios (LIMA et al., 2005).

Enquanto isso, o índice de desconforto térmico criado por Thom (1959), e adaptado por Santos et. al (2012), considera faixas de temperaturas que se adequam ao clima tropical. Contudo, o cálculo relaciona apenas temperatura e umidade, deixando fora da equação dados importantes como vestimenta do usuário, radiação solar e velocidade dos ventos.

Para Lima et al. (2005, p. 1049), "a ventilação é um dos fatores mais importantes para a termo-regulação do ser humano, principalmente em climas quente e úmido [...]". De acordo com o autor, o movimento do ar proporciona a sensação de frescor dos usuários, uma vez que, através dela, ocorre a perda de calor por convecção e pelo incremento da evaporação do suor da pele.

Segundo Cândido (2006), a condição de conforto em ambientes naturalmente ventilados depende da temperatura e da velocidade do ar. Em situações com baixas velocidades, o conforto térmico é tão sensível à temperatura radiante quando à do ar. Para velocidade mais altas, a temperatura do ar

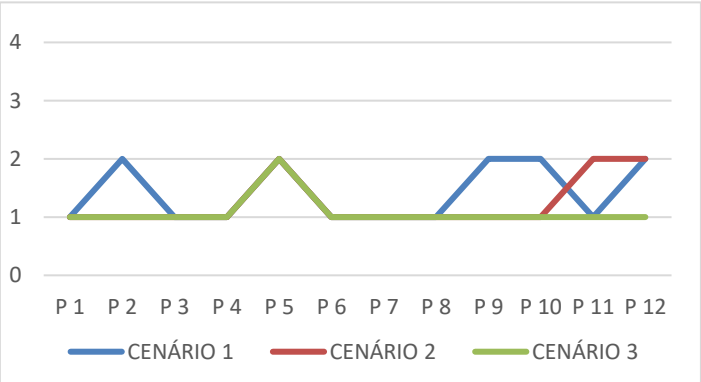

Figura 9 – Índice de desconforto térmico dos 12 pontos estabelecidos no cenário as 9h.

estabelece a percepção do conforto, possuindo grande impacto no bem-estar do usuário. Ainda de acordo com Cândido (2006), há indícios de que o movimento do ar possa produzir sensações de conforto sob temperaturas acima de 30ºC e velocidades dos ventos aceitáveis. Contudo, para temperaturas entre 33ºC e 37ºC a velocidade dos ventos não apresenta efeitos significativos sob a sensação térmica. Desse modo, o autor ressalta que "[…] a proximidade entre a temperatura do ar e da temperatura da pele reduz, consideravelmente, o potencial das trocas térmicas por convecção entre o corpo humano e a corrente de ar" (CÂNDIDO, 2006, p. 18).

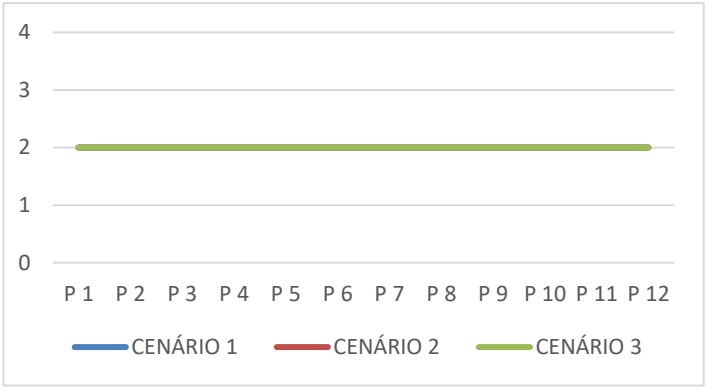

Figura 10 – Índice de desconforto térmico dos 12 pontos estabelecidos no cenário as 15h.

Visto a importância da ventilação natural para uma determinação mais aproximada do conforto do usuário, a temperatura efetiva em função do vento (TEv) foi analisada para os três horários. Segundo a classificação, em todos os cenários, o índice confortável prevaleceu, de modo geral os resultados oscilaram entre as faixas 6 a 8, indicando um cenário de levemente fresco a levemente desconfortável.

A Figura 12 expõe os resultados relacionados ao período da manhã e a escala numérica, estabelecida no gráfico, indica uma parte das faixas do TEv. Dessa forma, os valores correspondem respectivamente a sua faixa, sendo classificados como: ligeiramente frio (4), pouco frio (5), ligeiramente fresco (6), confortável (7), ligeiramente quente (8), quente moderado (9) e quente (10).

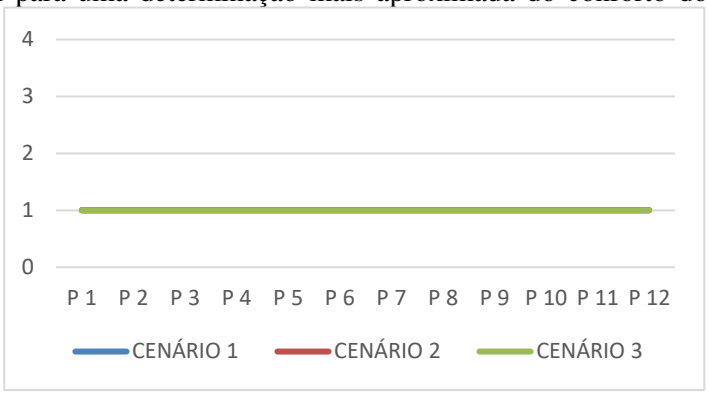

Figura 11 – índice de desconforto térmica dos 12 pontos estabelecidos no cenário as 21h.

Os dados pontuais referentes às 9h revelam que todos os pontos no primeiro cenário apresentaram o índice confortável, proporcionando assim um grau de neutralidade térmica ao usuário (Figura 12). No segundo cenário urbano, os pontos 1, 6, 11 e 12 indicaram o índice ligeiramente fresco, enquanto os demais apontaram sensação térmica de conforto. Os pontos que obtiveram as sensações de frescor correspondem às regiões que estão sob maior influência dos ventos, sendo todos localizados em canais de ventilação urbana. Nesses locais, a ventilação mínima foi de 1m/s e ocorreu no ponto 6, a velocidade máxima atingiu 1,63m/s no ponto 12. No terceiro cenário, os pontos 11 e 12 apresentaram sensações de ligeiro frescor enquanto os demais se mantiveram confortáveis. Assim como no segundo cenário, os pontos 11 e 12 estão sob o efeito de uma maior ventilação, sendo estes os únicos que apresentaram velocidade dos ventos acima de 1m/s.

Às 15h, os cenários começam a apresentar sensações de ligeiramente quente com estresse fisiológico de ligeiro suor e vasodilatação (Figura 13). No primeiro cenário os pontos 4 e 11 foram os únicos a apresentarem sensações de conforto. Tal fato pode estar associado a temperatura do ar, uma vez que o ponto 12, mesmo indicando velocidade dos ventos próxima a do ponto 11, se manteve ligeiramente quente.

Os dados referentes ao segundo e o terceiro cenário mantiveram a mesma dinâmica, obtendo o índice confortável para os pontos 1, 3, 6, 11 e 12.

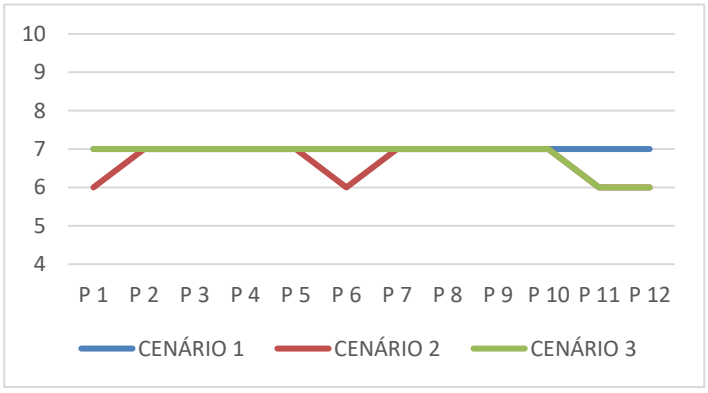

Figura 12 – Temperatura efetiva em função do vento dos 12 pontos estabelecidos no cenário as 9h.

No segundo cenário, os pontos que obtiveram o índice confortável correspondem aqueles com velocidade dos ventos superior a 0,6m/s. Já no terceiro cenário, houve pontos onde a temperatura e a umidade juntos contribuíram para a obtenção do

índice, uma vez que outros pontos apresentaram velocidade dos ventos significativas, contudo permaneceram ligeiramente quentes.

No período da noite (Figura 14), uma parte significativa dos pontos apresenta o índice confortável e surgem em todos os cenários locais ligeiramente frescos. No primeiro cenário, os pontos 1, 4, 11 e 12 apresentam ligeiro frescor, no segundo os pontos 1, 6, 11 e 12 e durante o terceiro cenário apenas os pontos 11 e 12. Em todos estes citados, a velocidade dos ventos se manteve acima de 0,7m/s.

Os dados encontrados, a partir do índice TEv, vão de encontro aos obtidos através do IDT. De modo geral, nas duas análises predominou o índice confortável nos cenários. Dessa forma, fica perceptível a discrepância que o PMV proporciona na caracterização das sensações térmicas de usuários em regiões tropicais.

Apesar dos resultados divergentes, todos os índices convergem para o fato de que o primeiro cenário apresenta os dados mais graves e que o período da tarde é quando a região tende a apresentar desconforto para os usuários. De forma semelhante, todos os índices despertam para a importância da ventilação para o meio urbano.

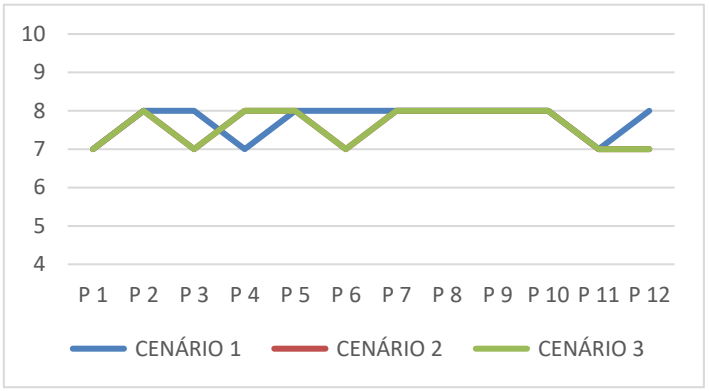

Figura 13 – Temperatura efetiva em função do vento dos 12 pontos estabelecidos no cenário as 15h.

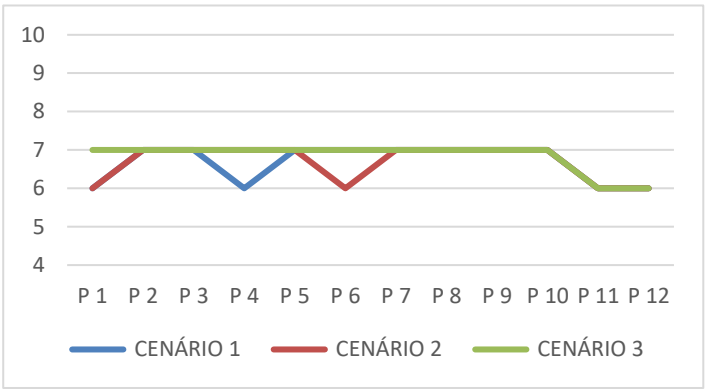

Figura 14 – Temperatura efetiva em função do vento dos 12 pontos estabelecidos no cenário as 21h.

5. CONCLUSÕES

As simulações microclimáticas alertam para a forma inadequada em que o espaço urbano está sendo tratado. O que se percebe é que, em vista da morfologia existente, que já conta com um elevado adensamento, o aumento dos gabaritos tende a promover uma melhoria no ambiente térmico através do sombreamento das superfícies e pelo incremento da velocidade dos ventos nos canais de ventilação.

Tais observações levam a afirmar que o efeito do sombreamento e da ventilação são os principais aliados para melhoria do clima urbano e também para o conforto humano. Contudo, é importante destacar que, apesar dos resultados encontrados, o adensamento, em principal a excessiva verticalização, podem não ser a melhor solução para a trama urbana; visto que o presente trabalho analisa apenas as questões relacionadas ao conforto térmico, desconsiderando, dessa forma, aspectos do conforto lumínico, acústico e outros que envolvam as sensações humanas.

Uma vez que o adensamento inadequado e mal planejado não é recomendável, propostas de mitigação devem ser utilizadas para reduzir o efeito do calor urbano em regiões que já sofrem com a problemática. Entre elas, a vegetação urbana surge como uma das principais alternativas. Para Mascaró (2012), o sombreamento proporcionado por uma vegetação de médio e grande porte com copa densa, ajuda a reduzir o aquecimento superficial em 9ºC a 10ºC. As massas vegetadas contribuem ainda para a redução dos ruídos urbanos e uma melhor qualidade do ar. Outro aspecto a ser trabalhado é a utilização de pisos e coberturas frescas. É importante ressaltar que o adensamento aqui tratado e indesejado se refere a aquele onde inexiste os afastamentos e canais de ventilação. A verticalização de forma ordenada e projetada é capaz de proporcionar mais sombreamento para a região urbana, interferindo também na dinâmica de ventos do espaço. Tal afirmação pode ser comprovada através dos resultados significativos que a aplicação da taxa de porosidade a níveis próximos aos usuários revelou, o que demonstra a sua importância e pertinência com alternativa de controle urbano. Aliando as estratégias de mitigação com taxas mais rígidas de ocupação do solo é possível construir um ambiente urbano mais equilibrado e confortável para a população.

Por fim, conclui-se que os problemas climáticos existentes na cidade de Colatina- ES possuem fortes ligações com a sua estrutura urbana. Dessa forma, o arranjo que deveria atenuar o clima regional, que por si só apresenta elevadas temperaturas, acaba contribuindo para o seu agravamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBIRATO, G. M.; SOUZA, L. C. L.; TORRES, S. C. **Clima e cidade**: a abordagem climática como subsídio para estudos urbanos. Maceió: EDUFAL, 2007.

CALLEJAS, I.; DUARTE, L.; OLIVEIRA, A.; SANTOS, F.; NOGUEIRA, M. Estudo comparativo de temperatura e umidade entre meio urbano e rural. In: XI Encontro Nacional de Conforto do Ambiente Construído, 2011, Búzios. **Anais**... Búzios: ANTAC, 2011.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RESURSOS MINERAIS (CPRM). **Definição da Planície de Inundação da Cidade de Colatina-ES**. Belo Horizonte, 2014. Disponível em: <https://www.cprm.gov.br/sace/conteudo/manchas_inundacao/colatina/relatorio.pdf>. Acesso em: 5 nov. 2018.

ESPÍRITO SANTO (Estado). Lei n.º 5273, de 12 de março de 2007. **Institui o Plano Diretor do Município de Colatina, estabelece objetivos, instrumentos e diretrizes e dá outras providências para as ações de planejamento no Município de Colatina**. Disponível em: <http://www.colatina.es.gov.br/legislacao/lei_5273_12-03-2007.pdf>. Acesso em: 5 nov. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Estatísticas**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/por-cidade-estado-estatisticas.html?t=destaques&c=3201506 >. Acesso em: 21 abr. 2018.

LAMBERTS, R; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R**. Eficiência energética na arquitetura**. 3. ed. Rio de Janeiro: Eletrobrás/ PROCEL, 2014.

LEAL, L.R.; XAVIER, T.C.; FIALHO, E.S; PALAORO, L.B; OLIVEIRA, W.D; ALVAREZ, C.E. Análise de Índices de Conforto Térmico Urbano associados às Condições Sinóticas de Vitória (ES), Brasil. In: II Encontro Nacional Sobre Reabilitação Urbana e Construção Sustentável: do edifício para a escala urbana, 2017, Lisboa. **Anais**... Lisboa: iiSBE, 2017.

LECHNER, N. **Heating, Cooling, Lighting**: sustainable methods for architects, Fourth Edition. New Jersy: John Wiley& Sons Inc., 2015.

LIMA, G. L. F.; OLIVEIRA, A. G.; PEDRINI, A.; ARAÚJO, V. M. D. Índices de conforto térmico: revisão e proposta para o clima quente e úmido de Natal – RN. In: VIII Encontro Nacional e IV Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído. **Anais**...Maceió: ANTAC, 2005.

METEOROLOGIA APLICADA A SISTEMAS DE TEMPO REGIONAIS (MASTER – IAG/ USP). **Temperatura Efetiva em função do vento**: distribuição das zonas de conforto para diferentes graus de percepção térmica e suas respostas fisiológicas. Disponível em: <http://www.masterantiga.iag.usp.br/conforto/previsao.php?ant=&var=temp_efet_v&t=2&gr=2&pr>. Acesso em: 5 nov. 2018.

MASCARÓ, J. A infraestrutura verde como estratégia de sustentabilidade urbana. In: XIV ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. **Anais**.... Juiz de fora: ANTAC, 2012, p. 962-969.

MERIGUETE, J. L. **Avaliação microclimática e o fenômeno das ilhas de calor em Colatina – ES**. 2017. 83 f. Monografia (Trabalho de conclusão de curso) – Instituto Federal do Espírito Santo, Colatina, 2017.

MERIGUETE, J; FOLETTO, V; SIMÕES, R; AMORIM, A. Estudo de temperaturas em sítios urbanos na cidade de Colatina/ES comparados com área rural. In: I Seminário de Conforto no Ambiente Construído e Mudanças Climáticas: clima urbano na dinâmica das cidades, 2017, Palmas. **Anais**…Palmas: SEMCAC, 2017.

PREFEITURA MUNICIPAL DE COLATINA (PMC). **Geografia**. Disponível em: <http://www.colatina.es.gov.br/acidade/index.php?pagina=geografia>. Acesso em: 21 abr. 2018

SANTOS, E. B.; AMORIM, A. C**. Avaliação do ambiente térmico em sítios diferenciados na cidade de Colatina – ES**. In: II Jornada de integração do Ifes e XIII Jornada de iniciação científica, desenvolvimento tecnológico e inovação do Ifes. Cariacica: 2018.

SANTOS, J.S.; SILVA, V.P.R.; SILVA, E.R.; ARAUJO, L.E.; COSTA, A.D.L. Campo térmico urbano e a sua relação com o uso e cobertura do solo em cidade tropical úmida. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 03, p.540-557, 2012.

SILVA, C. F. **Caminhos Bioclimáticos**: desempenho ambiental de vias públicas na cidade de Teresina-PI. 2009. 140 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

SOUZA, D. M.; Nery, J. T. O Conforto térmico na perspectiva da Climatologia Geográfica. **Geografia**, Londrina, v. 21, n. 2, p.65-83, maio/ago, 2012.