

**Universidade Federal de Juiz de Fora
Faculdade de Engenharia
Mestrado em Ambiente Construído**

ÉRICA VENDRAMINI SILVA

**ESTUDO DO IMPACTO DOS PARÂMETROS CONSTRUTIVOS NO
MICROCLIMA URBANO EM BAIRRO RESIDENCIAL DE JUIZ DE
FORA - MG**

**JUIZ DE FORA
2012**

ÉRICA VENDRAMINI SILVA

**ESTUDO DO IMPACTO DOS PARÂMETROS CONSTRUTIVOS NO
MICROCLIMA URBANO EM BAIRRO RESIDENCIAL DE JUIZ DE
FORA - MG**

Dissertação de Mestrado, submetida ao Programa de Pós-graduação em Ambiente Construído, área de concentração: Gestão do Ambiente Construído, da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ambiente Construído.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Breviglieri
Pereira de Castro

JUIZ DE FORA, MG

2012

Silva, Érica Vendramini.

Estudo do impacto dos parâmetros construtivos no microclima urbano em bairro residencial de Juiz de Fora - MG. / Érica Vendramini Silva. – 2012.

140 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído)-Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2012.

1. Microclima Urbano. 2. Planejamento Urbano. 3. Simulação Computacional. I. Título.

ÉRICA VENDRAMINI SILVA

**ESTUDO DO IMPACTO DOS PARÂMETROS CONSTRUTIVOS NO
MICROCLIMA URBANO EM BAIRRO RESIDENCIAL DE JUIZ DE
FORA – MG**

Dissertação de Mestrado, apresentado ao Programa de Pós-graduação em Ambiente Construído, área de concentração: Gestão do Ambiente Construído, da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ambiente Construído.

Aprovada em 27/04/2012

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Eduardo Breviglieri Pereira de Castro (Orientador)
Universidade Federal de Juiz de Fora



Prof. Dr. Márcio Marangon (Co-orientador)
Universidade Federal de Juiz de Fora



Prof. Dr. Marcos Martins Borges
Universidade Federal de Juiz de Fora



Prof. Dr. Leopoldo Eurico Gonçalves Bastos
Universidade Federal do Rio de Janeiro

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todas as pessoas que me apoiaram e me deram suporte nestes dois turbulentos anos de mestrado. Principalmente a Deus que me permitiu continuar esta caminhada com saúde e ao meu avô Morbello, que sempre me serviu como exemplo vivo de paciência, fé e coragem, em viver e enfrentar os obstáculos da vida.

À UFJF – Universidade Federal de Juiz de Fora e ao PROAC pelo apoio moral e físico prestado durante todo o desenvolvimento do trabalho.

À FAPEMIG pela bolsa de Mestrado, essencial para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu orientador, Professor Eduardo Castro, que muito contribuiu com seu olhar crítico e prático e, pela paciência e acessibilidade oferecidas durante toda a orientação.

À Prof^a. Dra. Leticia Maria de Araújo Zambrano um agradecimento especial pelas horas de conversas e incentivos, que sempre me ofereceu.

Agradeço também às minhas amigas de Mestrado que colaboraram para horas de almoços mais felizes.

À minha família, sempre presente e prestativa, e sem a qual eu não seria a mesma.

Ao meu querido noivo Ledson, por toda a paciência, carinho e atenção, além de toda disposição a me ajudar a todo o momento.

RESUMO

O presente trabalho analisa o microclima urbano e as alterações de parâmetros da legislação edilícia e de uso de ocupação do solo que interferem neste microclima. Sendo assim, estabeleceu-se como objetivo verificar a influência e o impacto das Leis urbanas na condição microclimática local e no conforto dos moradores de uma área tipicamente residencial de um bairro central de Juiz de Fora, Minas Gerais. A motivação é contribuir para um planejamento urbano sustentável da região. Os estudos elaborados basearam-se nas análises de três configurações urbanas: a configuração real levantada in loco, o máximo de ocupação permitida pela legislação vigente e o máximo permitido pela proposta de alteração desta Lei. Para os três casos foram realizadas simulações, por meio do software ENVI-met, obtendo resultados para as variáveis ventilação, temperatura e umidade relativa do ar. Os resultados sugerem que a área atual é capaz de, segundo a ocupação máxima permitida para a área, comportar maior densificação urbana, dependendo de soluções arquitetônicas para garantir níveis aceitáveis de conforto térmico.

Palavras-chave: Microclima Urbano, Planejamento Urbano, Simulação Computacional.

ABSTRACT

The present study analyzes the urban microclimate and the changes in urban legislation parameters and in the use of soil spaces that interfere on this microclimate. Therefore, the aim was to verify the influence and the impact of urban Laws on local microclimatic conditions and comfort of the habitants on a typical residential area of the central district of Juiz de Fora, Minas Gerais. The motivation is to contribute to a sustainable urban planning of the region. The studies were based on the analysis of three urban configurations: the actual built configuration, the maximum occupancy allowed by the current legislation, and the maximum allowed by the proposal amendments to this Law. Simulations using the software ENVI-met were carried out for the three cases cited above obtaining results for the variables ventilation, temperature and relative humidity. The results indicate that, considering the maximum allowed occupancy of the area, the current area is able to hold a higher urban densification, depending on architectural solutions to keep the thermal comfort within an acceptable level.

Keywords: Urban Microclimate, Urban Planning, Computer Simulation.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Efeitos aerodinâmicos produzidos pelo vento. Fonte: Romero, 2000. | 25 |
| Figura 2a, b e c – Esteiras de vento para diferentes implantações de edifícios. Fonte: (Bittencourt e Cândido, 2008)..... | 26 |
| Figura 3 – Escala de Beaufort. Fonte: Mascaro, 2004. | 27 |
| Figura 4 – Condições de conforto térmico de indivíduos em movimento. Fonte: Penwarden (1973, apud MASCARÓ, 2004)..... | 27 |
| Figura 5 - Exemplos de diagrama de fator de céu visível relacionado a diferentes conformações urbanas. Fonte: BARBIRATO, SOUZA E TORRES, 2007..... | 29 |
| Figura 6 - Relação em ter vestimenta e Resistência Térmica. Fonte: ASHRAE, 2001 apud DONAISKY, OLIVEIRA, MENDES, 2010. | 33 |
| Figura 7 - Relação entre tipo de Atividade e Metabolismo. Fonte: ASHRAE, 2001 apud DONAISKY, OLIVEIRA, MENDES, 2010. | 33 |
| Figura 8 – Relação entre valores de PMV, PPD e sensação térmica. Fonte: ASHRAE, 2001 apud DONAISKY, OLIVEIRA, MENDES, 2010..... | 34 |
| Figura 9 - Aspectos Técnicos usados no ENVI-met. Fonte: ENVI-met 3.1 Manual. (BRUSE, 2011)..... | 42 |
| Figura 10 - Gráfico comparativo curvas de temperaturas simuladas no ENVI-met com a das temperaturas medidas do ponto 2. Fonte: Nakata, Souza e Faria (2009). | 49 |
| Figura 11 – Comparação entre temperaturas do ar medidas e simuladas. (configuração inicial) Fonte: Shinzato, 2009..... | 49 |
| Figura 12 – Gráficos de ajustes. Parâmetros alterados: velocidade dos ventos, temperatura inicial, <i>nesting grids</i> e umidade relativa, respectivamente. Fonte: Shinzato, 2009. | 50 |
| Figura 13 - Comparação entre temperaturas do ar medidas e simuladas (configuração final). Fonte: Shinzato, 2009..... | 50 |
| Figura 14 – Gráfico de comparação de temperatura simulada e coletada, e gráfico de regressão para o local 1 – Aeroporto. Fonte: Carfan, Galvani e Nery (2008). | 51 |

| | |
|---|----|
| Figura 15 – Gráfico de comparação de temperatura simulada e coletada, e gráfico de regressão para o local 2 – SAE- Centro. Fonte: Carfan, Galvani e Nery (2008). | 51 |
| Figura 16 – Gráfico de comparação de temperatura simulada e coletada, e gráfico de regressão para o local 3 – UNESP. Fonte: Carfan, Galvani e Nery (2008)..... | 51 |
| Figura 17 - Localização de Juiz de Fora em Minas Gerais. Fonte: JUIZ DE FORA (2000)..... | 52 |
| Figura 18 – Gráfico de Distribuição da população. Fonte: PJF, 2009. | 53 |
| Figura 19 - Carta Bioclimática de Givoni para Juiz De Fora. Fonte: Software Analysis Bio..... | 55 |
| Figura 20 – Zonas abrangidas -mês de Fevereiro. Fonte: Autor | 55 |
| Figura 21- Zonas abrangidas - mês de Julho. Fonte: Autor | 55 |
| Figura 22 – Direção Preferencial dos ventos para o centro de Juiz de Fora. Fonte: SPU (2009). Adaptado. Sem Escala. | 58 |
| Figura 23 – Mapa das Regiões de Planejamento da cidade de Juiz de Fora/MG. Fonte: Anexo 4 da Lei de Uso e Ocupação do Solo, adaptado. Sem Escala..... | 67 |
| Figura 24 - Mapa de Zoneamentos da Cidade de Juiz de Fora. Fonte: Anexo 4 da Lei de Uso e Ocupação do Solo, adaptado. Sem Escala..... | 69 |
| Figura 25 - Mapa de Modelos de Ocupação para uso residencial da Cidade de Juiz de Fora. Fonte: Anexo 4 da Lei de Uso e Ocupação do Solo, adaptado. Sem Escala. | 70 |
| Figura 26 - Mapa de Taxas de Ocupação para uso residencial da Cidade de Juiz de Fora. Fonte: Anexo 4 da Lei de Uso e Ocupação do Solo, adaptado. Sem Escala. . | 71 |
| Figura 27 - Marcação da área de estudo. Fonte: Google Earth. Sem Escala. | 72 |
| Figura 28 – Modelo de ocupação da Área Escolhida. Fonte: Anexo 4 da Lei de Uso e Ocupação do Solo, adaptado. Sem Escala..... | 72 |
| Figura 29 - Mapa Topográfico e ventilação - Área de Estudo. Fonte: SPU (2009). Adaptado. Sem Escala..... | 73 |
| Figura 30 - Mapa Tipologias de uso. Fonte: SPU (2009). Adaptado. Sem Escala.... | 73 |
| Figura 31 - Mapa Residencial Tipologia. Fonte: SPU (2009). Adaptado. Sem Escala. | 74 |
| Figura 32 – Foto da área com marcação da área de estudo e do local do ponto de medição. Fonte: Google Earth - modificado. | 75 |
| Figura 33 – Equipamento EBRO, coleta de Temperatura e Umidade. Fonte: http://www.ebro.de/en/products/dataloggers/EBI_20_TH.php | 76 |

| | |
|--|-----|
| Figura 34 – Configuração final da área simulada moldada no ENVI-met, sem considerar nesting-grids – Edificações e Vegetações. Fonte: Autor | 78 |
| Figura 35 – Configuração final da área simulada moldada no ENVI-met, sem considerar nesting-grids – Revestimento do Solo. Fonte: Autor..... | 78 |
| Figura 36 - Dados de temperatura, umidade específica e altura de coletada. Fonte: Universidade de Wyoming, adaptado..... | 80 |
| Figura 37 – Distância da estação Meteorológica à Área de estudo em linha reta. Fonte: Google Earth. | 81 |
| Figura 38 – Imagem aérea da área de estudo. Fonte: Google Earth_ Base de dados de 2006. | 89 |
| Figura 39 – Mapa de gabaritos da área atual. Fonte: SPU (2009). Adaptado. Sem Escala. | 90 |
| Figura 40 – Mapa dos lotes escolhidos para sofrerem alteração construtiva. Sem escala. Fonte: SPU, adaptado..... | 91 |
| Figura 41 – Mapa dos lotes a serem alterados e sua classificação quanto ao uso do solo. Sem escala. Fonte: SPU, adaptado..... | 92 |
| Figura 42 – Mapa dos lotes a serem alterados e sua classificação quanto ao modelo de ocupação do solo. Sem escala. Fonte: SPU, adaptado. | 92 |
| Figura 43 – Vias de Acesso – Área de Estudo. Fonte: Adaptado pelo Autor. | 93 |
| Figura 44 – Mapa de gabaritos criado segundo os parâmetros da legislação atual para o máximo de ocupação vertical. Sem escala. Fonte: SPU, adaptado..... | 94 |
| Figura 45 – Mapa de gabaritos criado segundo os parâmetros da legislação atual para o máximo de ocupação vertical. Sem escala. Fonte: SPU, adaptado..... | 95 |
| Figura 46 – Mapa de gabaritos criado segundo os parâmetros da legislação atual para o máximo de ocupação horizontal. Sem escala. Fonte: SPU, adaptado..... | 96 |
| Figura 47 – Mapa dos lotes escolhidos aleatoriamente para representarem os modelos verticais e horizontais no uso misto. Sem escala. Fonte: SPU, adaptado. . | 96 |
| Figura 48 – Mapa de gabaritos criado segundo os parâmetros da legislação atual para o máximo de ocupação Mista. Sem escala. Fonte: SPU, adaptado..... | 97 |
| Figura 49 – Mapa de gabaritos criado segundo os parâmetros da legislação alterada, para o máximo de ocupação vertical. Sem escala. Fonte: SPU, adaptado..... | 98 |
| Figura 50 – Mapa de gabaritos criado segundo os parâmetros da legislação alterada, para o máximo de ocupação horizontal. Sem escala. Fonte: SPU, adaptado..... | 99 |
| Figura 51 – Mapa de gabaritos criado segundo os parâmetros da legislação alterada, para o máximo de ocupação Mista. Sem escala. Fonte: SPU, adaptado..... | 100 |

| | |
|--|-----|
| Figura 52 – Vista geral e vista frontal (pela av. Rio Branco) do conjunto REAL da área de estudo. Volume edificado final: 310.641 m ³ Fonte: Autor..... | 101 |
| Figura 53 – Volumetria geral e frontal (pela av. Rio Branco) resultante para a simulação VERTICAL – Lei atual. Volume edificado final: 400.446 m ³ . Fonte: Autor. | 101 |
| Figura 54 – Volumetria geral e frontal (pela av. Rio Branco) resultante para a simulação HORIZONTAL – Lei atual. Volume edificado final: 392.800 m ³ . Fonte: Autor..... | 102 |
| Figura 55 – Volumetria geral e frontal (pela av. Rio Branco) resultante para a simulação MISTA – lei atual. Volume edificado final: 401.984 m ³ . Fonte: Autor. | 102 |
| Figura 56 – Volumetria geral e frontal (pela av. Rio Branco) resultante para a simulação VERTICAL – PROPOSTA DE LEI. Volume edificado final: 443.705m ³ . Fonte: Autor..... | 103 |
| Figura 57 – Volumetria geral e frontal (pela av. Rio Branco) resultante para a simulação HORIZONTAL - PROPOSTA DE LEI. Volume edificado final: 443.664 m ³ . Fonte: Autor..... | 103 |
| Figura 58 – Volumetria geral e frontal (pela av. Rio Branco) resultante para a simulação MISTA - PROPOSTA DE LEI. Volume edificado final: 455.476 m ³ . Fonte: Autor..... | 104 |
| Figura 59 – Mapa de Temperatura do Ar - 15/02/2011 – 15h. Fonte: Envi-met | 107 |
| Figura 60 – Mapa de Umidade Relativa do Ar - 15/02/2011 – 15h. Fonte: Envi-met | 108 |
| Figura 61 – Mapa de Velocidade do Ar - 15/02/2011 – 15h. Fonte: Envi-met..... | 109 |
| Figura 62 – Trajetória dos ventos - 15/02/2011 – 15h. Fonte: Envi-met..... | 110 |
| Figura 63 - Mapa de PMV - 15/02/2011 – 15h. Fonte: Envi-met | 111 |
| Figura 64 – Mapa de PPD - 15/02/2011 – 15h. Fonte: Envi-met..... | 112 |
| Figura 65 – Gráficos comparativos entre resultados da Área Real e simulações horizontais, verticais e mistas; para cada variável simulada, temperatura, velocidade e umidade do ar, PMV e PPD. Fonte: Autor..... | 114 |
| Figura 66 – Gráficos comparativos entre todos os casos simulados para cada variável envolvida. Fonte: Autor. | 115 |
| Figura 67 – Imagem comparativa entre manchas de temperatura para cada modelo e legislação analisados. Fonte: Autor..... | 116 |
| Figura 68- Imagem comparativa entre manchas de umidade do ar para cada modelo e legislação analisados. Fonte: Autor..... | 117 |

| | |
|--|-----|
| Figura 69 - Imagem comparativa entre manchas de velocidade do vento para cada modelo e legislação analisados. Fonte: Autor..... | 118 |
| Figura 70- Mapa de temperatura para área real, com demarcação do ponto crítico. Fonte: ENVI-met adaptado..... | 122 |
| Figura 71 – Mapa de gabarito da Área Real com marcação das áreas modificadas e mosca da proposta de alteração do lote desocupado para uma praça. Fonte: Autor. | 122 |
| Figura 72 – Comparação entre mapas de temperatura. Área Real x Área Proposta. Fonte: ENVI-met adaptado..... | 123 |
| Figura 73 - Comparação entre mapas de Umidade. Área Real x Área Proposta. Fonte: ENVI-met adaptado..... | 124 |
| Figura 74 - Comparação entre mapas de Ventilação. Área Real x Área Proposta. Fonte: ENVI-met adaptado..... | 125 |
| Figura 75 - Comparação entre mapas de PMV. Área Real x Área Proposta. Fonte: ENVI-met adaptado..... | 127 |
| Figura 76 - Comparação entre mapas de PPD. Área Real x Área Proposta. Fonte: ENVI-met adaptado..... | 128 |
| Figura 77 - Comparação entre PPD para áreas com arborização modificadas. Fonte: ENVI-met adaptado..... | 128 |
| Figura 78 - Gráficos comparativos entre resultados simulados para Área Real e para sua proposta. Temperatura, Umidade, Velocidade do ar, Índice PMV e Índice PPD respectivamente. Fonte: Autor. | 129 |

LISTAS DE TABELAS

| | |
|--|-----|
| Tabela 1 – Temperatura média anual para cada mês, de 1996 a 2005. Fonte: LabCAA. (UFJF, 2008)..... | 54 |
| Tabela 2 – Dados Meteorológicos JF (2005 a 2009). Fonte: LabCAA. (UFJF, 2011) - Adaptado..... | 56 |
| Tabela 3– Dados climáticos - JF Médias. Fonte: LabCAA. (UFJF, 2011)- Adaptado. | 57 |
| Tabela 4 – Dados de entrada para simulação ENVI-met. Fonte: Autor..... | 82 |
| Tabela 5 – Dados de entrada a serem considerados para simulação em ENVI-met. Fonte: Autor..... | 87 |
| Tabela 6 – Modelos de Ocupação. Fonte: Legislação Urbana de Juiz de Fora. | 93 |
| Tabela 7 – Modelos de Ocupação. Fonte: Mensagem N°3615..... | 98 |
| Tabela 8 – Temperatura do ar °C para simulações realizadas. Fonte: Autor..... | 105 |
| Tabela 9 – Umidade Relativa % - para simulações realizadas. Fonte: Autor..... | 105 |
| Tabela 10 – Velocidade do ar m/s - para simulações realizadas Fonte: Autor..... | 106 |
| Tabela 11 – PMV para simulações realizadas. Fonte: Autor..... | 106 |
| Tabela 12 – PPD (%) para simulações realizadas. Fonte: Autor..... | 106 |
| Tabela 13 – Temperatura do ar °C para simulações realizadas. Fonte: Autor..... | 123 |
| Tabela 14 – Umidade do ar (%) para simulações realizadas. Fonte: Autor. | 124 |
| Tabela 15 – Velocidade do ar (m/s) para simulações realizadas. Fonte: Autor..... | 125 |
| Tabela 16 – Índice PMV para simulações realizadas. Fonte: Autor. | 126 |
| Tabela 17 – Índice PPD (%) para simulações realizadas. Fonte: Autor. | 126 |

LISTA DE ABREVIATURAS

Cwa - Clima Temperado Úmido Com Inverno Seco E Verão Quente
FCV - Fator de Céu Visível
IAB - Instituto dos Arquitetos do Brasil
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPPLAN – Instituto de Pesquisa e Planejamento
LabCAA - Laboratório de Climatologia e Análise Ambiental
LabEEE - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
LUMPS - Local-Scale Urban Meteorological Parameterization Scheme
ONU – Organização das Nações Unidas (UN – United Nations)
PDDU - Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Juiz da Fora
PJF – Prefeitura Municipal de Juiz de Fora - MG
PMV - Voto Médio Estimado
PPD - Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas
RP – Região de Planejamento
SPGE – Secretaria de Planejamento e Gestão Estratégica
SPU - Secretaria de Política Urbana
TEB - Town Energy Balance
UCL - Urban Canopy Layer-
UNESP – Universidade Estadual Paulista
UT - Unidades Territoriais
ZR – Zona Residencial

SUMÁRIO

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 16 |
| 1.1 | PROBLEMA | 17 |
| 1.2 | OBJETIVO | 18 |
| 1.3 | JUSTIFICATIVA | 19 |
| 1.4 | LIMITAÇÕES | 21 |
| 1.5 | ESTRUTURA DO TRABALHO | 21 |
| 2 | REVISÃO DA LITERATURA | 23 |
| 2.1 | CONFORTO TÉRMICO EM AMBIENTE URBANO | 23 |
| 2.1.1 | Ventilação | 23 |
| 2.1.2 | Radiação Solar | 28 |
| 2.1.3 | Umidade do Ar | 30 |
| 2.1.4 | Temperatura do ar | 30 |
| 2.1.5 | Índices de conforto higro-térmico | 31 |
| 2.2 | PLANEJAMENTO URBANO E CLIMA | 34 |
| 2.3 | SIMULAÇÃO DO MICROCLIMA URBANO | 40 |
| 2.3.1 | Estrutura do Programa ENVI-met | 42 |
| 2.3.2 | Modelagem da Área de Estudo no ENVI-met | 43 |
| 2.3.3 | Resultados simulados | 46 |
| 2.3.4 | Limitações do Software | 46 |
| 2.3.5 | Estudos de Confiabilidade do ENVI-met | 48 |
| 3 | CARACTERIZAÇÃO E DEFINIÇÃO DO AMBIENTE URBANO EM ESTUDO | 52 |
| 3.1 | CARACTERÍSTICAS GERAIS | 52 |
| 3.2 | CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS E NORMAIS CLIMATOLÓGICAS | 54 |
| 3.3 | NORMAS E REGULAMENTAÇÕES PARA JUIZ DE FORA | 59 |
| 3.3.1 | Plano Diretor | 59 |
| 3.3.2 | Parcelamento do Solo | 62 |
| 3.3.3 | Código de Obras | 63 |
| 3.3.4 | Uso e Ocupação do Solo | 63 |
| 4 | METODOLOGIA | 66 |
| 4.1 | DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E MEDIÇÕES | 66 |
| 4.2 | SIMULAÇÕES | 77 |
| 4.2.1 | Ajuste dos dados de entrada | 82 |
| 4.2.2 | Limitações e observações quanto ao software | 87 |
| 4.3 | TRATAMENTO DA GEOMETRIA E CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS | 88 |
| 4.3.1 | Simulação da Configuração Real da Área de Estudo | 89 |
| 4.3.2 | Simulação do Máximo Permitido para Lei Vigente | 91 |
| 4.3.3 | Simulação do Máximo Permitido para Proposta de Alteração da Lei | 97 |
| 4.3.4 | Volumetrias Tridimensionais finais | 100 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 5 | RESULTADOS E PROPOSTAS | 105 |
| 5.1 | RESULTADO DAS SIMULAÇÕES DE TEMPERATURA, UR E VENTILAÇÃO..... | 105 |
| 5.2 | SIMULAÇÃO DE INDICADORES DE CONFORTO | 106 |
| 5.3 | COMPARAÇÃO ENTRE SIMULAÇÕES | 113 |
| 5.4 | ANÁLISE SOBRE DENSIFICAÇÃO FUTURA..... | 119 |
| 5.5 | PROPOSTA PARA PIOR SITUAÇÃO | 121 |
| 6 | CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES..... | 130 |
| | REFERÊNCIAS..... | 135 |

1 INTRODUÇÃO

A população mundial segundo a Organização das Nações Unidas (ONU, 2011) corresponde a aproximadamente 7 bilhões de pessoas. Deste total, 50.5% da população residem em áreas urbanas. Segundo o Relatório das Nações Unidas em 1987, denominado Relatório *Brundtland* ou “Nosso Futuro Comum” (ONU, 1991), o crescimento populacional mundial tende a aumentar cada vez mais e, principalmente, nos países em desenvolvimento.

Neste contexto, o Brasil está no 5º lugar do ranking mundial dos países mais populosos com o correspondente a 191 milhões de habitantes e com cerca de 84% dessa população vivendo em cidades (IBGE, 2010).

Segundo Lombardo (1985) o aumento populacional em áreas urbanas acontece principalmente devido aos fatores de acentuada migração rural e as altas taxas de nascimentos. Todo este crescimento representa a necessidade de um maior controle e expansão de infra-estrutura urbana, o que nem sempre corresponde às possibilidades de um país em desenvolvimento.

Para atender a toda a demanda populacional, as cidades tendem a crescer horizontal e verticalmente e, quando isto ocorre de maneira desordenada, interfere diretamente na qualidade de vida cidadina, podendo gerar desequilíbrio entre o homem e o meio natural. A urbanização crescente tem acarretado vários desajustes térmicos, hídricos e geotécnicos que resultam em fenômenos variados, dos quais se pode citar a formação das Ilhas de calor. A principal característica deste fenômeno seria a tendência de aumento de temperatura principalmente em centros urbanos, que aliada à ocupação densa impede o fluxo natural de ar, o que dificulta a dispersão dos bolsões de calor.

1.1 PROBLEMA

Segundo Veiga (2008), o pensamento corrente a respeito do desenvolvimento das cidades está intimamente ligado a objetivos abstratos como investimentos, crescimento econômico e exportações, servindo esta ideia para legitimar e justificar a dependência do homem ao seu caráter predatório milenar.

Porém, este tipo de pensamento que vem sendo aplicado coincide com uma explosão populacional das cidades que agrava cada vez mais o desequilíbrio entre o crescimento urbano e a disponibilidade de recursos vitais.

Sendo assim, o desenvolvimento sustentável de uma cidade deve prever, entre outros aspectos, a melhoria das condições de vida da população, eficiência e qualidade ambiental, mudanças nos padrões de produção e consumo da cidade. Todavia, segundo Veiga (2008), a melhor maneira de se atingir estes objetivos seria prioritariamente estabilizar o crescimento urbano, de modo a evitar que num futuro próximo os países em desenvolvimento tenham problemas ainda maiores em mãos.

Contudo, esta ação demandaria mudanças culturais e políticas na sociedade, o que a torna difícil de ser deslumbrada. Logo, o desafio atual está em se gerenciar a sustentabilidade em um ambiente que passa por um processo de urbanização em um momento em que o percentual de população mundial vivendo em cidades cresce aceleradamente.

Quanto maior a população, maior é o seu impacto sobre o meio. Os fenômenos mais comuns de resposta do ambiente natural à apropriação urbana são as ilhas de calor, poluição do ar, chuvas intensas, chuvas ácidas, inundações, desabamentos, escassez de água potável, diminuição da camada de ozônio, dentre outros.

As alterações no clima urbano estão diretamente relacionadas com aspectos como o tamanho das cidades, a densidade da área construída, a cobertura do solo, a altura dos edifícios, a orientação e largura das vias, a divisão dos lotes e a existência e distribuição dos corpos d'água e áreas verdes, parâmetros estes definidos pelo Plano Diretor das cidades e suas leis complementares.

A qualidade da vida humana está diretamente relacionada com a interferência da obra do homem no meio natural urbano. O homem urbano defronta-se com a impessoalidade da grande aglomeração e com a má qualidade do meio ambiente, geradas pela rápida transição da vida urbana metropolitana. (LOMBARDO, 1985 _ p. 16)

Em seu livro, Lombardo (1985) conclui que existe uma relação direta e intrínseca entre os tipos de uso do solo e a variação de temperatura do ar, demonstrando que áreas com crescimento vertical intenso em espaços residenciais densamente ocupados apresentam altas temperaturas, enquanto regiões com espaçamentos livres, com vegetação ou reservatórios de água próximos, as temperaturas sofrem declínios acentuados.

Logo, pode-se afirmar que a legislação urbana contribui para a formação de uma cidade confortável para seus habitantes quando adequada ao clima local, garantindo qualidade ambiental e conforto térmico urbano.

1.2 OBJETIVO

Considerando o problema apresentado, no presente trabalho tem-se como objetivo realizar uma análise em um recorte na microrregião urbana da cidade de Juiz de Fora – MG, verificando a influência de suas leis urbanas na condição microclimática local e no conforto dos moradores da região central. Busca-se deste modo contribuir para a temática de planejamento urbano sustentável.

O objetivo geral do trabalho é verificar os impactos causados pelo modelo de ocupação urbana proveniente de pressões, políticas e econômicas, para maior adensamento das áreas residenciais da cidade com base nos limites da legislação, analisando as resultantes térmicas dessas alterações no espaço urbano.

Como objetivos específicos têm-se:

- Avaliar o conforto térmico da área de estudo para três configurações básicas: configuração hoje existente da área de estudo, situação moldada pelos parâmetros máximos de ocupação da legislação vigente e situação máxima de ocupação sugerida pela proposta de alteração da lei de 2007 (JUIZ DE FORA,2007a);
- Verificar a relação dos diferentes modos de uso e ocupação do solo com as resultantes térmicas das mesmas;
- Criar recomendações para desenhos urbanos que gerem índices aceitáveis de conforto térmico.

1.3 JUSTIFICATIVA

Em 10 de maio de 2007, o executivo da cidade de Juiz de Fora encaminhou à Câmara Municipal a Mensagem ao executivo nº 3615 (JUIZ DE FORA, 2007a) que sugeria a alteração dos parâmetros construtivos da Lei de Uso e Ocupação do Solo, vigente desde 1986. Após várias discussões sobre o assunto, percebeu-se a necessidade de se avaliar melhor o impacto causado pela nova proposta e suas influências na nova configuração urbana a se formar a partir da mesma.

A Mensagem N°3615/2007 (JUIZ DE FORA, 2007a) sobre a alteração do Anexo 8 da Lei de Uso e Ocupação do Solo - Lei Municipal 6910/1986 (JUIZ DE FORA, 1997), dispunha sobre a taxa de ocupação, os coeficientes de aproveitamento, os afastamentos e a área mínima do lote. Alegava o Prefeito que, por se tratar de uma lei vigente há mais de vinte anos, a mesma não mais contemplava com eficiência a atual demanda e necessidade da cidade, especialmente frente aos novos conceitos e diretrizes do Estatuto da Cidade.

Na referida Mensagem ao Executivo afirma-se que as alterações propostas (JUIZ DE FORA, 2007a) "... visam harmonizar os parâmetros que definem o tipo de edificação a ser construída dentro da cultura e necessidade de moradia dos juiz-foranos." Assevera também que a aprovação desta proposta incentivaria à recuperação e fortificação do setor de construção civil da cidade.

Os índices de adensamento propostos pela mensagem do executivo (JUIZ DE FORA, 2007a) prevêm o aumento de coeficientes de aproveitamento e taxas de ocupação, que resultariam em um aumento de área construída em oito de doze modelos de ocupação existentes para a Cidade. A alteração da lei resultaria em um aumento da verticalização edilícia que se faria em maiores proporções na área central de Juiz de Fora.

Segundo o parecer do IAB (IAB, 2007):

Conceber um maior adensamento generalizado e, em especial, para a área central de Juiz de Fora seria uma agressão à nossa sociedade, além de um disparate técnico, pois toda infra-estrutura está lançada e não comporta mais aumento de demanda, como podemos observar claramente após chuvas de média intensidade, quando inundações acontecem em vários pontos da cidade em poucos minutos. Isso sem falar do sistema viário, que já atinge níveis de saturação, com constantes engarrafamentos, como já é de conhecimento público. O que a cidade precisa é de revitalização do centro por meio de um projeto urbanístico adequado.

A Audiência Pública (JUIZ DE FORA, 2007b) convocada para debater a Mensagem do Executivo nº 3615, no dia 19 de junho de 2007, provocou a discussão sobre a alteração da Lei de Uso e Ocupação do Solo, e estimulou a realização de estudos técnicos e acadêmicos de modo a contribuir para respostas sobre possíveis limites de ocupação que garantam padrões de qualidade de vida para a população. A tramitação da proposta de alteração da Lei Municipal 6910/86 (JUIZ DE FORA, 1997) foi interrompida em 26 de setembro de 2007.

Além disso, discussões sobre alterações na lei de ocupação do solo devem necessariamente avaliar a questão da sustentabilidade urbana, se considerarmos o grau de urbanização global, que já passa de 50% e deve atingir o percentual de 60% até 2025 (UNESP).

O urbanismo sustentável aborda a dinâmica da arquitetura da paisagem e diversos conceitos como a mutabilidade dos espaços, equidade social e harmonia, vislumbrando a eficiência energética, o bioclimatismo, a otimização dos recursos, os sistemas cíclicos, a valoração cultural, histórica e regional, entre outros elementos de complexas inter-relações. (ROMERO, 2006; SILVA et al, 2010)

O processo de urbanização modifica os ecossistemas naturais, acarretando a criação de microclimas locais, devido ao aumento da temperatura, redução da umidade e alteração da composição química da atmosfera. Nem sempre o microclima gerado apresenta condições satisfatórias de habitabilidade e sustentabilidade ocasionando estudos de intervenções urbanas bioclimáticas para reverter ou minimizar estas conseqüências. (SILVA et al, 2010)

A necessidade de se avaliar, portanto, o impacto causado pela proposta de alteração de uso e ocupação do solo, suas influências para o conforto e configuração da cidade de Juiz de Fora, assim como analisar sua resultante para os índices urbanísticos atuais, justificam este trabalho, como forma de orientar o controle da qualidade da cidade, na busca de parâmetros mais adequados às interações entre forma urbana, uso solo com o clima tropical de altitude.

Todos estes aspectos motivaram este trabalho que tem como intenção servir como um estudo inicial às análises que venham a buscar a qualidade microclimática urbana.

1.4 LIMITAÇÕES

Devido à grande extensão de tópicos a serem levados em consideração para a conformação de um ambiente urbano sustentável e confortável, não foi possível abranger todas as possibilidades de simulações e indicadores climáticos e sustentáveis necessários para a total abordagem microclimática da área em estudo.

Logo, nesta pesquisa abordou-se mais especificamente as resultantes dos parâmetros construtivos legais na ambiência urbana, enfatizando o estudo da alteração dos coeficientes de aproveitamento do solo e suas resultantes térmicas, em uma área central tipicamente residencial da cidade.

Não foram considerados os impactos relativos à infra-estrutura urbana, poluição, acústica, materiais construtivos e suas propriedades, transporte urbano e impactos de corpos d'água, dentre outros aspectos comumente abordados em estudos urbanos microclimáticos.

Além disso, os diversos estudos analisados mostram que o conforto térmico em espaços urbanos abertos é influenciável por diversos fatores e variáveis, abrangendo desde ventilação, temperatura, umidade do ar, radiação solar, até as atividades exercidas pelos usuários, sua vestimenta, etc.

Desta forma, devido à grande extensão de itens e a impossibilidade de tratamento de todos os dados, nesta pesquisa foram somente descritos e investigados os parâmetros relacionados aos fatores ambientais, com o objetivo de identificar as condições de conforto para diferentes situações urbanas.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em sete capítulos, sendo o primeiro de caráter introdutório e o último correspondente às referências citadas.

O segundo capítulo trata da revisão da literatura e fundamentação teórica, abordando a relação entre espaços urbanos e clima, as variáveis de conforto térmicas relacionadas ao tema, os efeitos e impactos da urbanização. Apresenta ainda, uma leitura do software utilizado para simulações e dos estudos de confiabilidade referente ao mesmo.

No capítulo três é apresentada a cidade em estudo, Juiz de Fora, suas características gerais e climatológicas, assim como as normas regulamentadoras vigentes na cidade quanto ao aspecto construtivo.

No capítulo quatro, referente à metodologia, se detalha o roteiro metodológico, incluindo os aspectos de simulação e coleta de dados em campo, a instrumentação e o tratamento dos dados obtidos. Aborda aspectos introdutórios às simulações e à formação volumétrica e constituinte de seus edifícios.

O capítulo cinco abarca as análises referentes às simulações realizadas e suas comparações cruzadas. Avalia também, uma possível proposta de melhora para o pior resultado encontrado entre as simulações e uma análise da capacidade de densificação futura da área.

O capítulo sexto traz as conclusões e recomendações em que se chegou com a finalização da pesquisa.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo trata do levantamento bibliográfico baseado em literatura sobre o assunto, através de consulta a artigos científicos, dissertações e teses selecionadas.

Discorre-se sobre as variáveis ambientais relacionadas ao conforto térmico em ambiente urbano, sobre a relação entre planejamento urbano e clima, e sobre simulações no microclima urbano, com ênfase no uso do software ENVI-met.

2.1 CONFORTO TÉRMICO EM AMBIENTE URBANO

Conforme Givoni (1976) citado por Barbirato et al (2007), os elementos do clima que mais afetam o conforto humano são a ventilação, radiação solar, temperatura e umidade do ar. Nos itens a seguir estes tópicos são discutidos mais detalhadamente.

2.1.1 Ventilação

A ventilação tem grande importância tanto para a conservação da salubridade, através de renovação do ar, quanto para manutenção do conforto térmico durante o verão. Por este motivo, um mínimo de ventilação é indispensável para todas as estações climáticas. (FROTA, SCHIFFER, 2003)

Segundo Barbirato et al (2007) a temperatura do ar resulta em diferenças de pressão atmosférica que causam a movimentação do ar por convecção, esta variação de densidade do ar influenciam diretamente na formação dos ventos.

Almeida (2006) ressalta que além dos deslocamentos das massas de ar numa escala global, deve-se considerar em análises climáticas, os ventos locais provocados pelos diferenciais térmicos gerados pelas características do relevo e presenças de terra e água.

Para Romero (2000), os ventos locais são os que mais interessam para análises de microclimas urbanos, pois são característicos para cada localidade. Dentre os dados meteorológicos, o vento apresenta grande variação durante o dia, e de um dia a outro com características determinísticas e aleatórias (direção, frequência e intensidade). Contudo, Hertz (1998) aponta: “A zona urbana é um lugar onde se torna mais difícil induzir movimento do ar.” Isto porque dependendo da

altura dos prédios, o vento passa a ser direcionado para sua parte superior, com conseqüente perda de velocidade do vento no nível dos pedestres.

Neste contexto, percebe-se a importância de análise da ventilação e de sua relação com as formas urbanas, visto que seu controle pode ser essencial para criar ambientes mais favoráveis ao conforto.

Os principais aspectos que interferem no movimento do ar são a rugosidade e a porosidade das superfícies. A rugosidade se caracteriza como os obstáculos como edifícios e vegetações. A porosidade, por sua vez, é a relação entre espaços abertos e confinados em uma estrutura urbana. Sendo assim, elementos urbanos como orientação das ruas quanto à predominância de direção do vento, tamanho, altura e densidade dos edifícios e distribuição de edifícios altos entre baixos são de grande influência nas condições finais de velocidade de ventilação urbana. (ROMERO, 2001)

O princípio do movimento do ar é determinado pelo seguinte fenômeno: o ar flui de áreas de alta pressão para áreas de baixa pressão. Ou seja, quando o vento atinge um anteparo (edificação, vegetação ou topografia) ele cria uma zona de alta pressão a barlavento do objeto (lado atingido) e uma zona de baixa pressão a sotavento do obstáculo. A força positiva tende a empurrar a superfície do corpo enquanto a negativa exerce sucção. Este diferencial de pressão é que resulta na ventilação natural em ambientes internos (ventilação cruzada). (BITTENCOURT, CÂNDIDO, 2008; SOUZA, 2006; FROTA, SCHIFFER, 2003)

Muitos efeitos aerodinâmicos podem ser observados na escala urbana, de acordo com estudos realizados em túneis de ventos. Dentre eles podem-se destacar os apresentados por Romero (2000) e exemplificados na Figura 1:

- Efeito Pilotis: ocorre quando o vento entra sob o edifício de maneira difusa e sai em jato;
- Efeito Esquina ou de Canto: aceleração da velocidade do vento nos ângulos do edifício;
- Efeito Barreira: ocorre quando o edifício funciona como uma barreira à passagem do vento, criando um desvio em espiral;
- Efeito Venturi: fenômeno de funil formado por dois edifícios próximos, cujos eixos formam um ângulo agudo ou reto na direção do vento, acelerando a velocidade do vento no estrangulamento entre os edifícios;

- Efeito de Canalização: formado quando a ventilação flui por um canal (corredor) a céu aberto formado pelos edifícios;
- Efeito Redemoinho ou Sombra de Vento ou Zona de Sucção: ocorre quando o fluxo de vento se separa da superfície dos edifícios, formando uma zona de redemoinho ou estagnação do ar a sotavento;
- Efeito das Zonas de Pressão Distintas: formado quando há um conjunto de blocos dispostos ortogonalmente ao vento dominante. Com isso, formam-se entre os blocos, regiões de alta e baixa pressão, surgindo fluxos de ar paralelos aos blocos que tendem sempre da zona da alta para baixa pressão;
- Efeito Malha: formado quando há uma justaposição de edifícios de qualquer altura, fazendo um alvéolo cujo número de lados não é limitado, e onde a(s) abertura(s) da malha não excede 25% do seu perímetro;
- Efeito Pirâmide: formado quando os edifícios, por sua forma piramidal, não oferecem grande resistência à passagem do vento;
- Efeito Esteira: ocorre quando há circulação do ar em redemoinho na parte posterior em relação à direção do vento (fachada em zona de baixa pressão), sendo esta limitada pelas linhas saídas das arestas.

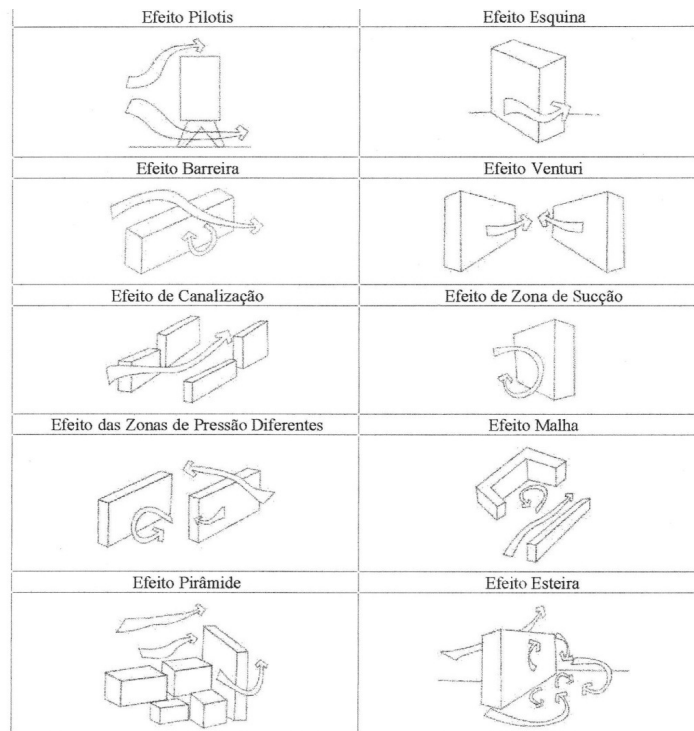


Figura 1 - Efeitos aerodinâmicos produzidos pelo vento. Fonte: Romero, 2000.

A disposição das edificações, como já foi citado, interfere diretamente no movimento das massas de ar. Estudos apresentados por Bittencourt e Cândido

(2008) demonstram que edificações enfileiradas e em paralelo (Figura 2a) produzem um corredor de vento no sentido de distribuição e produzem longas esteiras de vento entre as edificações, sendo que uma edificação obstrui a que fica a jusante do vento. Com a configuração alternada, escalonada ou tabuleiro de xadrez (Figura 2b e 2c), há a redução da área da sombra de vento, resultando em um potencial de ventilação natural melhor distribuído entre todas as edificações.

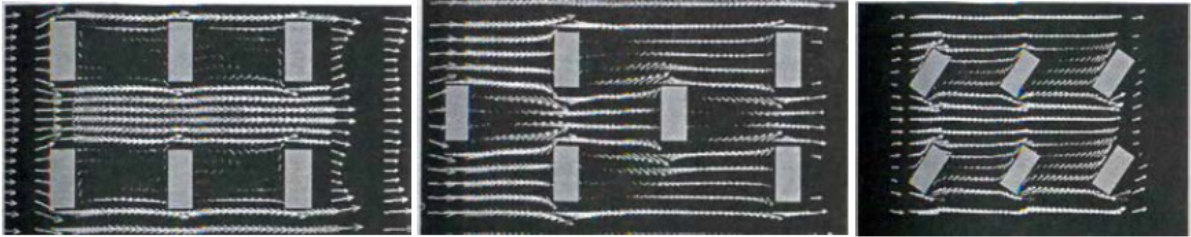


Figura 2a, b e c – Esteiras de vento para diferentes implantações de edifícios. Fonte: (Bittencourt e Cândido, 2008)

Romero (2001) constatou que as torres, quando dispersas na vizinhança, sempre aumentam a velocidade do ar nas ruas. Uma configuração densa com torres é melhor ventilada do que uma configuração de baixa densidade com edifícios de altura uniforme.

Quanto ao impacto da ventilação ao corpo humano, muitos estudos vêm sendo apresentados, relacionando velocidade dos ventos e conforto sensível aos pedestres. A ventilação facilita a troca térmica entre a pessoa e seu entorno, acelerando a perda de umidade do corpo através da convecção e evaporação. Quanto mais o ar se move sobre a pele, mais facilmente ocorre a troca térmica. Sendo assim, a velocidade do vento influencia diretamente na sensação de conforto térmico, o que ressalta mais uma vez a importância de seu controle por meio do desenho urbano.

Mascaró (2004) aponta que com velocidades médias de 5 m/s pode se considerar o início de desconforto. Para $v=10$ m/s classifica-se como claramente desconfortável.

Segundo Serra (1999, apud GONÇALVES, 2009) o acréscimo de 0,3 m/s de velocidade do ar acarreta o decréscimo de 1°C na sensação térmica do homem submetido à corrente de ar.

A escala de Beaufort (MASCARÓ, 2004) mesmo datando de 1806, continua sendo a relação mais utilizada para indicar as condições confortáveis do vento, sendo esta apresentada na Figura 3.

| BEAUFORT NÚMERO | DESCRIÇÃO DO VENTO | VELOCIDADE (m/seg) | DESCRIÇÃO DOS EFEITOS DOS VENTOS |
|--------------------|-----------------------|-----------------------|---|
| 0 | calmo | menor que 0,4 | vento não perceptível. |
| 1 | ventos leves | de 0,4 a 1,5 | vento não perceptível. |
| 2 | brisa leve | de 1,6 a 3,3 | vento sentido no rosto. |
| 3 | brisa suave | de 3,4 a 5,4 | ventos que levemente estendem as bandeiras/ cabelos desarrumados/roupas balançando. |
| 4 | brisa moderada | de 5,5 a 7,9 | ventos levantando poeira/solo seco/papéis soltos/ cabelos desordenados. |
| 5 | brisa fresca | de 8,0 a 10,7 | força dos ventos sentidos no corpo/ neve acumulada surgida pelo vento/ limite do vento agradável sobre a terra. |
| 6 | brisa forte | de 10,8 a 13,8 | uso de sombrinhas com dificuldade/cabelos golpeados imediatamente/dificuldade de caminhar com firmeza/ventos ruidosos, desagradável no ouvido/ ventos nascidos da neve em torno da altura da cabeça. |
| 7 | ventania moderada | de 13,9 a 17,1 | sentida de maneira inconveniente, quando caminhando. |
| 8 | ventania fresca | de 17,2 a 20,7 | geralmente impede de progredir/ grande dificuldade com balanço das rajadas. |
| 9 | ventania forte | de 20,8 a 24,4 | pessoas golpeadas por cima pelas rajadas. |

Figura 3 – Escala de Beaufort. Fonte: Mascaro, 2004.

Em relação ao conforto térmico pode-se ainda relacionar os índices de conforto térmico para indivíduos em movimento. Penwarden (1973, apud MASCARÓ, 2004) associa temperatura do ar, tipo de roupa utilizada e velocidade do vento para estabelecer as condições de conforto humano. (Figura 4)

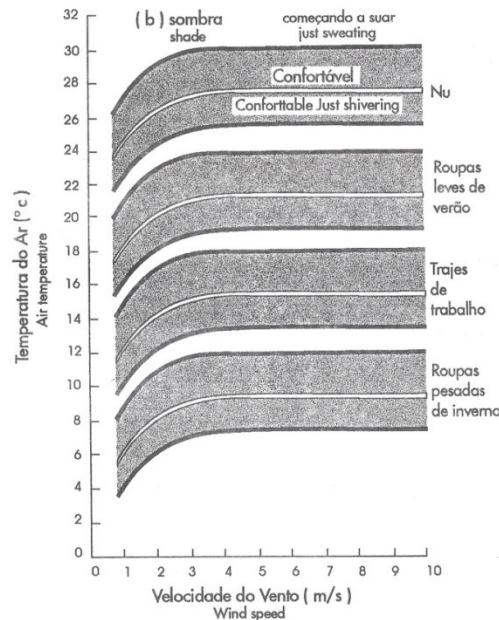


Figura 4 – Condições de conforto térmico de indivíduos em movimento. Fonte: Penwarden (1973, apud MASCARÓ, 2004).

Por isso, pode-se concluir que as características do vento na ventilação urbana, aliado às massas edificadas, sua forma, sua dimensão e posicionamento afetam diretamente os pedestres e o conforto térmico. Romero (2001) afirma que se pode controlar este fenômeno por meio de otimização de volumes construídos,

inserção de vegetação, movimento de terra, de mobiliário urbano, dentre outras alternativas que são capazes de modelar com a ventilação predominante a favor do melhor escoamento de ar dos ambientes.

2.1.2 Radiação Solar

A radiação solar pode ser entendida como energia eletromagnética transmitida pelo sol, sendo nas seguintes proporções: 53% de infravermelho, 44% visível e 3% ultravioleta. (CASTRO, 1999).

Esta radiação ao penetrar na atmosfera, perde intensidade de acordo com a distância percorrida, sendo grande parte bloqueada pela camada de ozônio, pela poluição do ar, vapor d'água, nuvens e dióxido de carbono. Parte da parcela que vence estes obstáculos sofre reflexão pela superfície da terra, e a restante é absorvida, o que produz o aumento da temperatura do ar. Sendo assim, dias com céu claro e seco possuem maior irradiância solar do que dias com nuvens, umidade elevada e poluição. Além disso, o potencial de ganho térmico de uma superfície depende, também, de sua cor e material, que podem refletir, absorver e ou transmitir maior radiação solar. (ROMERO, 2000)

Seguindo estes princípios, regiões de climas frios podem utilizar materiais de maior absorção de radiação, com intuito de aumentar sua carga térmica, enquanto que em regiões quentes os materiais reflexivos e de maior emissividade podem criar melhores condições de habitabilidade. Em climas que possuem as duas estações bem definidas podem fazer uso do estudo de insolação para aproveitar raios solares no inverno, e no verão o uso de materiais reflexivos pode amenizar o ganho de radiação solar. (ROMERO, 2001)

A quantidade de radiação recebida em uma cidade varia conforme o posicionamento das edificações, sendo de importância suas sombras e ventilação resultantes (FROTA; SCHIFFER, 2003). Em uma área urbana adensada apenas uma pequena parte da radiação solar que atinge as paredes dos edifícios é refletida para o céu, a maior parte é eventualmente absorvida pelas paredes. Esta radiação pode ser emitida, o que dependerá da cor e material destes edifícios. Uma parte da radiação também atinge as fachadas, sendo 20% a 80% refletida para as paredes vizinhas, dependendo da cor das paredes. Assim, a maior parte da radiação solar fica retida nos edifícios, pois é absorvida pela própria massa construída. Fato que

está intimamente ligado ao fator de céu visível (FCV) ou máscara de sombra, que se trata da quantidade de céu visível disponível em cânions urbanos.

A parcela de céu visível determina a taxa de resfriamento radiativo do local, o que torna as relações entre largura e altura da área edificada determinantes quanto à capacidade de uma porção urbana em liberar o calor acumulado em suas superfícies. (MASCARÓ, 2004)

Na Figura 5 vê-se um exemplo de parcela do céu visível e sua relação com as geometrias urbanas.

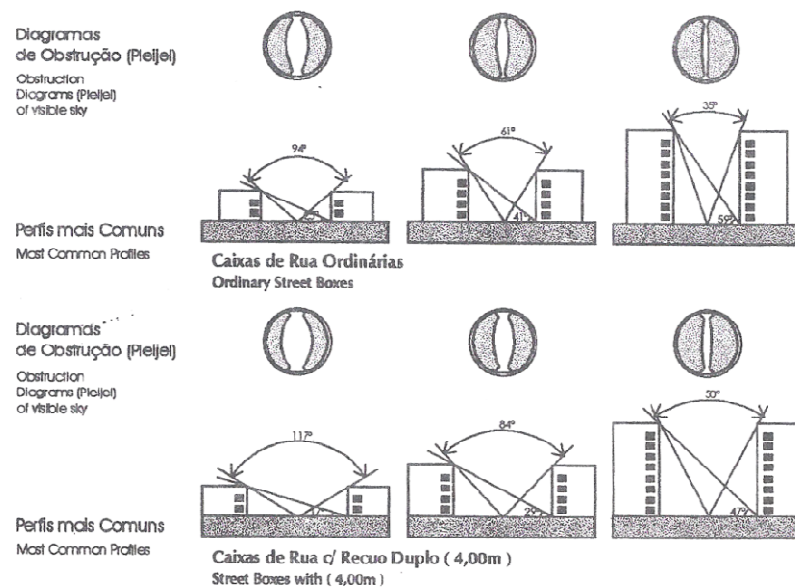


Figura 5 - Exemplos de diagrama de fator de céu visível relacionado a diferentes conformações urbanas. Fonte: BARBIRATO, SOUZA E TORRES, 2007

A conformação urbana modifica a duração de exposição solar de suas superfícies, devido à geração de sombras de um edifício sobre o outro. Contudo, os materiais (asfalto, pedras, cimentos...) utilizados em espaços urbanos tendem a absorver maior quantidade de calor, o que se aliado ao baixo FCV, contribuirá para uma lenta perda de carga térmica, o que mantém as temperaturas mais elevadas à noite, podendo contribuir para o fenômeno de “ilha de calor”. (BARBIRATO, SOUZA E TORRES, 2007)

Estes fatores demonstram a importância do estudo e previsão das áreas sombreadas e ensolaradas, assim como a constituição da geometria urbana e características dos materiais construtivos em um projeto climaticamente adequado. Para estas análises, pode-se fazer uso da carta solar, prevendo os horários de insolação para as edificações, permitindo proteger ou expor fachadas e/ou materiais conforme a necessidade. (GONÇALVES, 2009 e BITTENCOURT, 2004)

2.1.3 Umidade do Ar

Define-se por umidade a quantidade da água contida na atmosfera em função da evaporação, precipitação e transpiração das plantas. (HERTZ, 2003)

Existem várias maneiras de se medir a umidade ambiente. Dentre elas, a mais usada é a umidade relativa, relação de vapor d'água existente no ar e o limite da saturação total do ar para as mesmas condições de temperatura e pressão (%). (BARBIRATO, SOUZA, TORRES, 2007)

A umidade relativa do ar varia com temperatura, sendo inversamente proporcional à mesma, e tem grande influência no conforto térmico, pois além de absorver tanto a radiação solar quanto a terrestre, influencia na remoção do calor por evaporação. Com a baixa umidade do ar, a pele passa ceder umidade através da evaporação resultando em seu resfriamento. Por outro lado, com a alta umidade do ar a remoção de calor por evaporação é prejudicada, resultando em uma sensação de maior calor. (GONÇALVES, 2009)

2.1.4 Temperatura do ar

A temperatura do ar é resultante dos efeitos de aquecimento e resfriamento da superfície da terra, que advém de fenômenos como evaporação, condução, convecção e emissão de radiação de ondas longas. (BARBIRATO, SOUZA, TORRES, 2007)

A temperatura do ar é uma variável de estudo do ar, dela dependendo a umidade relativa e velocidade do ar. O corpo humano realiza trocas de calor com o meio por convecção. Quanto menor for a temperatura do ar, desde que esta seja menor que a temperatura do corpo, maior será a quantidade de calor removida do corpo.

O ar, quando em contato com uma superfície que teve ganho térmico, acaba aquecido por condução e este transfere este calor às camadas superiores por convecção. Esta transferência gera instabilidade entre as camadas que tendem a se misturar constantemente, o que resulta na movimentação do ar. (ROMERO, 2000)

Segundo Lombardo (1985) altas temperaturas são verificadas nas áreas onde o crescimento urbano vertical é intenso, onde existem altas densidades demográficas e pouca quantidade de vegetação.

Estudos demonstram que a presença da água e da vegetação é garantia de diminuição da temperatura de um determinado local, devido ao aumento da umidade relativa e das áreas sombreadas. (GONÇALVES, 2009)

As áreas de alta densidade urbana possuem temperaturas médias superiores às rurais, configurando o efeito das “ilhas de calor”, principalmente durante a noite. Este autor aponta ainda, que o fenômeno é consequência direta da baixa taxa de vegetação e evaporação do solo na cidade, da alta absorção de radiação durante o dia e baixa taxa de esfriamento radiante durante as noites, além da maior geração de calor devido às atividades em áreas urbanas.

2.1.5 Índices de conforto higro-térmico

Grande parte dos trabalhos de pesquisa sobre o tema conforto, sejam eles de modelagem teórica e ou experimental, objetivam aplicações para ambientes internos, sendo influenciáveis pelo tipo de atividade e vestimenta dos usuários e pelas condições climáticas e velocidade do ar. A maior parte dos estudos foram realizados para ambientes fechados, isso se dá principalmente pela facilidade encontrada no controle das variáveis, sendo que em espaços abertos este controle é bem reduzido, dificultando os estudos. (BRANDÃO, 2009; MONTEIRO, ALUCCI, 2010)

Segundo Monteiro e Alucci (2010) espaços abertos devem considerar o ganho de radiação solar, a ação do vento, as variáveis temperatura e umidade do ar e diferentes anseios de conforto térmico devido à heterogeneidade de indivíduos e atividades.

Não se conhece um índice que seja largamente aceitável, contudo existem alguns estudos que aplicam o PMV e PPD adaptados para regiões tropicais, dentre estes, os estudos de Zambrano, Malafaia e Bastos (2006) indicam a necessidade de ajuste de índices de conforto em climas tropicais devido às aplicações de Fanger¹ não considerarem que existe uma maior tolerância ao calor em regiões tropicais, que indica a necessidade de aplicação de um fator redutor de 0,6 para os valores de PMV encontrados.

¹ ZAMBRANO,L.; MALAFAIA, C.; BASTOS, 2006 apud FANGER,P.; TOFTUM, J. Extension of the PMV model to non-air-conditioned buildings in warm climates. Energy and Buildings, n.34,2002: 533-536.

A utilização do PMV adaptado pode sugerir uma maior precisão na análise de espaços externos. Embora a pesquisa que utiliza este método deva ser ampliada para comprovação de sua eficiência, optou-se neste trabalho por apresentar os resultados tradicionais de PMV de Fanger e também, os resultados adaptados propostos por Zambrano, Malafaia e Bastos (2006).

Um papel importante da utilização dos índices de conforto é a possibilidade de obtenção de recomendações para novas construções a partir das condições climáticas locais. Estas indicações podem ser geradas, por exemplo, pelos Diagramas Bioclimáticos², que através de representações gráficas, correlacionam parâmetros ambientais demarcando zonas de conforto térmico, que representam condições climáticas nas quais a maioria das pessoas não sentiria desconforto térmico.

Além do uso de diagramas bioclimáticos, outros trabalhos apresentam fórmulas com entrada de temperatura e umidade, com intenção de se verificar para determinada área, se os valores resultantes se enquadram em parâmetros que possam ser considerados confortáveis. O interesse é de verificação dos resultados simulados em temperatura e umidade quanto ao conforto térmico.

Muitos estudos de conforto higrotérmico citam Fanger (1970 apud CASTRO, 2005) que propõe índices de conforto higrotérmico através dos parâmetros Voto Médio Estimado (PMV) e Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas (PPD), relacionados com sensação de conforto do indivíduo. O indicador de voto médio predito (PMV) traduz a sensibilidade humana ao frio (valor negativo) e ao calor (valor positivo), sendo o conforto térmico expresso pelo valor zero.

O PMV representa uma equação que correlaciona à sensação térmica com quatro variáveis ambientais: temperatura do ar, temperatura radiante média,

² Olgay em 1952 foi o primeiro a propor um diagrama de conforto quando apresentou sua carta bioclimática onde correlaciona a temperatura do ar, a umidade, a velocidade do ar e a radiação térmica (ROMERO, 2000). A Carta de Givoni ilustra as zonas de conforto para países desenvolvidos e países quentes em desenvolvimento com base na carta psicrométrica convencional, umidade absoluta e adaptação às condições internas das edificações. A sua proposta inclui zonas de estratégias bioclimáticas para expandir os limites da zona de conforto térmico, como: ventilação, massa térmica, resfriamento evaporativo e aquecimento solar passivo, calculadas para atender o conforto em uma residência hipotética. Considera-se o gráfico de Givoni como sendo o mais adequado à realidade brasileira. (YOSHIDA, 2006)

velocidade do ar e umidade relativa; e duas variáveis pessoais: vestimenta e atividade metabólica. (UFRN, 2008)

Fanger adota índices de sensação térmica relacionados aos diversos níveis de tensão fisiológica, segundo uma escala que varia de -3 (muito frio) a +3 (muito quente), (Tabela 3). Os valores extremos ocasionam uma reação do organismo em busca do equilíbrio térmico. Conforme a ISO 7730, os valores recomendados de PMV estão entre $-0,5 < PMV < + 0,5$. (CASTRO, 2005; CARFAN et al, 2010)

Convém ressaltar que nos estudos de Zambrano, Malafaia e Bastos (2006) é indicada uma metodologia de ajuste de índices de conforto em climas tropicais, pois estes possuem uma maior tolerância ao calor. Esta adaptação faz uso de um fator redutor de 0,6 para os valores de PMV encontrados, de modo a avaliar os valores finais adaptados pelos critérios da tabela de Fanger.

Segundo Bruse (2011) o equilíbrio térmico do corpo humano depende tanto das vestimentas usadas, calculada pela resistência térmica da roupa (*clo*), quanto do tipo de atividade e do metabolismo (*met*) do usuário considerado. Estas relações podem ser vistas nas figuras 6 e 7.

| Vestuário | Resistência Térmica (<i>clo</i>) |
|-------------------------|------------------------------------|
| Somente calção | 0,1 |
| Vestuário tropical | 0,3 |
| Vestuário leve de verão | 0,5 |
| Vestuário para trabalho | 0,7 |
| Agasalho leve | 1,0 |
| Traje completo | 1,5 |

Figura 6 - Relação em ter vestimenta e Resistência Térmica. Fonte: ASHRAE, 2001 apud DONAISKY, OLIVEIRA, MENDES, 2010.

| Tipo de Atividade | Metabolismo (<i>met</i>) |
|----------------------------|----------------------------|
| Deitado | 0,8 |
| Sentado descansando | 1,0 |
| Sentado com atividade leve | 1,2 |
| Em pé com atividade leve | 1,6 |
| Em pé com atividade média | 2,0 |
| Atividade intensa | 3,0 |

Figura 7 - Relação entre tipo de Atividade e Metabolismo. Fonte: ASHRAE, 2001 apud DONAISKY, OLIVEIRA, MENDES, 2010.

Convém observar ainda que, segundo os estudos citados, o índice PMV apresenta, geralmente, bons resultados. Entretanto, a percepção térmica de indivíduos em ambientes ventilados naturalmente parece sofrer certas alterações, já que a maioria dos estudos considera principalmente ambientes condicionados artificialmente.

CASTRO (2005), DONAISKY, OLIVEIRA e MENDES, (2010) citam que Fanger correlacionou, ainda, a porcentagem real de indivíduos insatisfeitos e a porcentagem prevista de indivíduos insatisfeitos, obtendo um novo índice, PPD (Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas). Segundo a ISO 7730, o valor de PPD recomendado não deverá ultrapassar 10%. Esta correlação entre o índice PPD com o índice PMV pode ser expressa pela Figura 8:

| PMV | Sensação Térmica | PPD (%) |
|-----|------------------|---------|
| +3 | Muito Quente | 100 |
| +2 | Quente | 75 |
| +1 | Levemente Quente | 25 |
| 0 | Neutra | 5 |
| -1 | Levemente Frio | 25 |
| -2 | Frio | 75 |
| -3 | Muito Frio | 100 |

Figura 8 – Relação entre valores de PMV, PPD e sensação térmica. Fonte: ASHRAE, 2001 apud DONAISKY, OLIVEIRA, MENDES, 2010

2.2 PLANEJAMENTO URBANO E CLIMA

Segundo Menezes (1986 apud CASTRO, 1999), o ambiente urbano é reflexo do crescimento demográfico, da especulação imobiliária, do trânsito e da ocupação do solo. Contudo, a partir do referencial teórico estudado, estes aspectos além de definir o ambiente urbano, também influenciam diretamente o clima urbano.

Além disso, principalmente os centros urbanos dos países em desenvolvimento, têm crescido de modo acelerado, sem controle ou planejamento por parte do poder público local, sobrecarregando a infra-estrutura local e a qualidade de vida. Como resultante deste crescimento têm-se sérios danos no ambiente natural e construído, impactos econômicos, sociais e de qualidade de vida dos cidadãos. Estas configurações urbanas podem gerar estresse bioclimático resultantes da deficiência de ventilação em espaços externos e internos aos edifícios, aumento da concentração de poluentes, redução das condições de

iluminação natural e de insolação dos recintos urbanos, com o conseqüente aumento do consumo de energia. (ASSIS, 2006)

Esta situação indica a necessidade de revisão de planos diretores e leis urbanísticas que considerem estudos de sustentabilidade. Algumas cidades como Belo Horizonte, Florianópolis e Porto Alegre (LIMA, 2004), apresentam estudos que consideram o fator de céu visível mínimo, condições mínimas de ventilação, iluminação, insolação e temperatura relacionadas aos afastamentos de edifícios, aberturas de janelas, taxas de ocupação, coeficientes de aproveitamento, densidade de ocupação, presença de áreas verdes e de corpos d'água.

Contudo, existe uma dificuldade de aplicação destes estudos no zoneamento das cidades, principalmente devido à dificuldade de comunicação entre pesquisadores e planejadores; ao empecilho cultural, pois os planejadores ainda não assimilaram a importância do planejamento urbano climaticamente responsável; e também devido à dificuldade de traduzir os resultados das pesquisas em subsídios e ferramentas úteis para aplicação em planejamento (ASSIS, FERREIRA, 2007; ASSIS, 2003).

Conforme afirma Corbusier (1993 apud DUARTE, 2000):

“...é urgente e necessário modificar certos usos, tornando acessível a todos, por meio da legislação, um certo nível de bem-estar. É preciso impedir, por uma rigorosa regulamentação urbana, que famílias inteiras sejam privadas de luz, de ar e de espaço, determinando a maneira como o solo deve ser ocupado, estabelecendo a relação entre a superfície construída e as áreas livres ou plantadas, estabelecendo locais para as moradias e seus diversos prolongamentos, etc.”

Outro aspecto importante a se considerar é que diferentes modos de ocupação e apropriação do solo por uma determinada população, podem gerar conseqüências ambientais expressivamente distintas. Costuma-se associar a alta densificação com alta taxa de impermeabilização do solo, o que segundo estudos, acarretaria maiores valores de temperatura para o verão (SOUZA, 2009; COSTA, 2009).

Por outro lado, estudos atuais apontam que a maior parte dos aspectos ambientais negativos relacionados à urbanização está ligada mais a outros fatores: padrões de desenvolvimento (produção e consumo insustentáveis), falta de desenvolvimento (pobreza), localização geográfica, padrões de uso da terra, forma urbana (pavimentação excessiva e “desnaturalização”), redução (ou até eliminação) na intensidade da exposição solar, falta de controle e gerenciamento urbano

(serviços e infra-estrutura ineficiente) – do que à urbanização, densidade ou tamanho das cidades (SOUZA, 2009; SCUSSEL, SATTLER, 2009).

Além disso, a densificação urbana é desejável desde que relacionada a alguns fatores como ocupação reduzida dos lotes, preocupação por parte dos moradores em criar ambientes e áreas comuns com presença de vegetação arbóreo-arbustiva e rasteira. Estas constatações podem ser verificadas com estudos de climatologia urbana (REZENDE, REZENDE, 2009).

Apesar do primeiro estudo sobre climatologia urbana ter se iniciado com Luke Howard (*"The Climate of London deduced from meteorological observations"*) em 1833, segundo Duarte (2000) pouco tinha sido feito até os dias de hoje no âmbito da adequação climática do espaço urbano e da melhoria das condições de conforto nos espaços públicos, tendo os principais esforços até então, visado o desempenho higrotérmico dos edifícios. Assis e Ferreira (2007) e Assis (2006), afirmam que as produções científicas brasileiras direcionadas ao planejamento e climas urbanos têm crescido, e têm analisado em sentido decrescente os principais tópicos: uso do solo urbano, efeitos da forma urbana, conforto térmico e planejamento urbano, vegetação urbana, ilha de calor, acesso à luz natural e fator de visão do céu, consumo de energia, efeitos da inércia térmica e efeitos das massas d'água.

Apesar de recente na literatura científica, Assis cita que Oke (1981, apud ASSIS 2003) apontou em seus estudos que as duas características urbanas mais relevantes nas diferenças climáticas no meio são a geometria urbana (caracterizada pela relação altura e distância entre edifícios ou entre edifícios e ruas – denominada razão H/W – ou pelo fator de visão do céu visível, FVC), e as propriedades térmicas das superfícies (avaliadas através de sua inércia térmica).

Em 1985 Lombardo apresentou pesquisas que comprovaram a alta correlação entre os tipos de uso do solo urbano e a variação da temperatura do ar. Neste estudo verificou-se que áreas com crescimento vertical intenso e baixo índice de áreas verdes tiveram como resultantes altas temperaturas do ar, enquanto que baixas temperaturas foram verificadas em regiões com maior concentração de espaços livres, com vegetações e as proximidades a corpos d'água.

Em 2009 Gonçalves discute um assunto bem debatido em trabalhos recentes e aponta que a ocupação horizontal é mais impactante do que a vertical, quando possuem mesma densidade, pois causa maior restrição a ventilação urbana e à presença de áreas verdes.

Estas poucas pesquisas apresentadas exemplificam bem a forte relação entre alterações legislativas e seus impactos em microclimas urbanos e demonstram a grande complexidade do ambiente urbano e de seus aspectos influenciadores.

Apesar da grande complexidade de análise do clima resultante nas cidades, as modificações no microclima são sentidas pelo ser humano, principalmente nos espaços públicos abertos, o que faz a climatologia urbana ter cada vez mais relevância na obtenção da qualidade de vida, conforto térmico e salubridade dos cidadãos (GONÇALVES, 2009).

Com a verificação de que o fenômeno da urbanização resulta em mudanças no clima local, surge à necessidade de estudar os efeitos negativos no clima. Esses efeitos climáticos crescem e ficam mais graves a partir do momento em que a cidade vai se expandindo (GONÇALVES, 2009).

Segundo Katzschner (1997), citado por Almeida (2006), alguns fenômenos urbanos podem ser controlados por ações de planejamento, projeto de edifícios e desenho urbano, daí a importância do planejador urbano em orientar seus projetos, verificando os efeitos térmicos possíveis para diferentes arranjos dos espaços.

Duarte (2000) afirma em sua pesquisa que a vida urbana se converteu em uma série de experiências condicionadas artificialmente, desde microclimas internos à moradia, espaços de trabalhos e veículos. Esta interiorização fez com que os microclimas internos controlados gerassem maior confiança nos usuários.

Com o visto no item anterior, os principais fatores relativos ao conforto ambiental de usuários em ambientes externos são a radiação solar, umidade do ar, ventilação e temperatura do ar.

Givoni (1998, apud Barbirato et al, 2007), Romero (2001), Oliveira (1988, apud GONÇALVES 2009), Cunha (2006) dentre outros autores, apontam alguns fatores da forma urbana que influenciam no clima urbano:

- Permeabilidade aos ventos (porosidade – espaçamento entre as edificações);
- Reação entre ventos e obstáculos (rugosidade – fricção entre superfície urbana e os ventos);
- Densidade da construção e tamanho horizontal e vertical das cidades;
- Largura das vias e uso e ocupação do solo (influenciam a distribuição da temperatura dentro da área urbana, de acordo com distribuição das atividades e proporções de áreas verdes);
- Orientação da construção (acesso solar e de ventos – devem possibilitar o

sombreamento por vegetação ou por elementos construídos do lado do poente);

- Parcelamento do solo e divisão dos lotes (influencia do fator de visão do céu, taxa de ocupação, coeficiente de aproveitamento);
- Presença e distribuição dos corpos d'água e áreas verdes, além da permeabilidade do solo (relação entre solo recoberto e solo nu);
- Escolha das propriedades físicas dos materiais constituintes do espaço urbano (albedo, absorvância à radiação solar, emissividade, inércia térmica e índices de impermeabilidade dos materiais de massa edificada – a maior temperatura relaciona-se com superfícies escuras e impermeáveis: concreto, cimento, asfalto...);
- Atividades do homem e aumento da contaminação do ar.

Estes fatores mostram que, basicamente, a área urbanizada ao modificar certas características da paisagem natural, tais como materiais constituintes, permeabilidade do solo à água, índice de vegetação, rugosidade e superfícies expostas à radiação solar, modifica o balanço energético local, causando mudança de comportamento das variáveis do clima. O problema é que estes parâmetros citados anteriormente, são geralmente definidos pelo Plano Diretor e suas leis complementares (OLIVEIRA, 1988, apud GONÇALVES, 2009; ASSIS, 2003; DUARTE, 2009; RORIZ E BARBUGLI, 2003).

Romero (2006) aponta então, que um planejamento urbano sustentável deve considerar as escalas climáticas orientadas em quatro dimensões, a cidade, o bairro/área/setor, o lugar e o edifício; incluindo seus habitantes e elementos urbanos, arquitetônicos e ambientais, e que o entendimento dos fatores externos à edificação é importante para o controle efetivo dos ambientes urbanos, principalmente quando em fase conceitual. Os espaços construídos devem possuir um condicionamento térmico natural, com intuito de amenizar as sensações de desconforto e proporcionar ambientes favoráveis às realizações de atividades dos usuários para diferentes ambiências climatológicas (BARBIRATO, 2007).

Muitos pesquisadores já realizaram trabalhos que buscam maneiras de associar a forma urbana ao microclima local. Apesar de sua validade se restringir aos locais de estudo, tornando-os inadequados para previsões de estados futuros (BRANDÃO, 2009), pode-se apontar os seguintes autores e tipo de comparação realizada em seus estudos (DUARTE, 2009):

- Oke (1973, 1976, 1981) relacionou o parâmetro população com a intensidade máxima da ilha de calor urbana, posteriormente, englobou a velocidade média do vento e os fluxos por radiação de onda longa para o céu.
- Nakagawa (1996) buscou a qualidade do clima urbano através dos arranjos dos edifícios, áreas verdes urbanas e corpos d'água.
- Givoni (1998) trabalha com a densidade construída e o aquecimento urbano.
- Duarte (2000) relaciona temperatura do ar e taxa de ocupação, coeficiente de aproveitamento, presença de água e vegetação com apresentação de uma proposta de indicador de conforto.
- Santos, Lima e Assis (2003, apud DUARTE, 2003) relacionaram Fator de Visão de Céu (FVC) e a Massa Construída, que indicaram tendências que podem ser usadas para previsão de alterações climáticas futuras no bairro aplicado, a partir da análise de cenários de adensamento previstos no bairro.
- Roriz e Barbugli (2003) e Barbugli e Roriz (2005) usaram parâmetros físicos da paisagem urbana (altitude, densidade de ocupação, projeção da área construída, área de asfalto, área cimentada, proximidade de água, presença de vegetação e ângulo de incidência solar). Seus estudos indicaram forte influência desses parâmetros sobre as diferenças climáticas observadas.
- Brandão (2009) estuda a influência da taxa de ocupação, coeficiente de aproveitamento e recuos para determinação das condições de temperatura de um espaço urbano.

Percebe-se que a abundância de variáveis envolvidas, além da complexidade dos assentamentos urbanos e suas interações, resultam em estudos que buscam abarcar o entendimento dos fenômenos envolvidos, e assim, agregar o conhecimento acumulado às legislações municipais.

Logo, a problemática consiste em determinar as correlações existentes entre microclimas urbanos e os padrões de ocupação do solo, buscando com isso a melhoria das condições de conforto higrotérmico nas cidades, através de uma instrumentação legal e técnica clara e funcional.

Segundo Pezzuto (2007), o processo de urbanização afeta variáveis climáticas como radiação solar visível, infravermelhos e ultravioletas, umidade relativa, ventos, nebulosidade, precipitação, formação de ilhas de calor, neblina, domus de poeira e inversão térmica.

Romero (2006) afirma que os parâmetros que influenciam o conforto térmico

se diferenciam entre fatores ambientais, dependentes da qualidade dos edifícios; e pessoais, dependentes das atividades e vestimentas dos usuários. O efeito combinado destas variáveis é que determina a sensação de conforto ou desconforto térmico.

Assis (2000) citada por Pezzuto (2007) aponta as seguintes características do clima urbano, consideradas prejudiciais para cidades tropicais:

- Aumento da temperatura do ar e diminuição da umidade relativa, produzindo uma condição de stress bioclimático;
- Aumento do consumo energético para o resfriamento artificial dos edifícios;
- Aumento da incidência de tempestades sobre os centros urbanos;
- A concentração da poluição do ar e a diminuição da ventilação natural pelo aumento da rugosidade da superfície terrestre.

Barbirato (2007) afirma que a qualidade ambiental das edificações está intimamente relacionada com a qualidade ambiental urbana, sendo necessário viabilizar um espaço urbano adaptado às condições climáticas locais para se gerar um equilíbrio ambiental. Ressalta ainda, que a investigação climática é recurso indispensável ao planejamento, pois as modificações de forma e crescimento das cidades têm como consequência mudanças ambientais e climáticas, resultando em inúmeros microclimas.

Sendo assim, o estudo do conforto ambiental deve ultrapassar as fronteiras do lote, chegando às ruas, bairros e cidades, permeando até o planejamento urbano.

“a forma da cidade, as ruas, os lotes, o tamanho dos espaços públicos, devem ser projetados de modo a amenizarem as condições climáticas, isto é, suas características devem obedecer a princípios de desenho urbano adequados ao clima local.” (Branco, 2000 apud Almeida 2006. Pag. 36.)

2.3 SIMULAÇÃO DO MICROCLIMA URBANO

Conforme Marcondes e Umakoshi (2007) o uso de tecnologias computacionais para a análise de desempenho ambiental de espaços abertos é relativamente nova e complexa, pois o ambiente urbano sofre a influência de diversas variáveis que se interrelacionam, o que torna importante a verificação da adequabilidade do estudo pretendido ao software escolhido.

Existem várias ferramentas computacionais de simulação microclimática para áreas urbanas, como o *Town Energy Balance –TEB* (MASSON, 2000 apud

SHINZATO, 2009); *Local-Scale Urban Meteorological Parameterization Scheme – LUMPS* (GRIMMOND, OKE, 2002 apud SHINZATO, 2009), *Urban Canopy Layer-UCL* (MILLS, 1997 apud SHINZATO, 2009), dentre outros. Neste trabalho o software ENVI-met foi escolhido para a realização dos estudos de simulações por ser acessível, de interface amigável e simplificada aos pesquisadores em conforto ambiental urbano, sendo capaz de realizar simulações de interação entre superfície-vegetação-atmosfera com poucos dados de entrada e com geração de mais de cinquenta opções de dados de saída. (DPTAU, 2009)

ENVI-met é um programa de uso livre elaborado por Michael Bruse, do Instituto de Geografia da Universidade de Mainz – Alemanha. As versões atualmente disponíveis são a 3.1 Beta V (2010) e a antiga versão 3.0 (2004), mas o programa encontra-se em constante desenvolvimento. Informações sobre o programa bem como as versões atualmente disponíveis podem ser obtidas no site: www.envi-met.com.

As simulações de ventilação urbana geradas pelo programa ENVI-met utilizam o cálculo dos parâmetros baseados em princípios da mecânica dos fluidos, termodinâmica e física da atmosfera. A forma de escoamento, a ocorrência de turbulências e os processos termodinâmicos que ocorrem nas superfícies dos solos, das construções e das plantas são capazes de prever o fluxo de ar entre as edificações. Tal software calcula iterativamente o desempenho de uma área urbana em regime transiente, em um período que varia entre 24 e 48 horas com um intervalo de tempo de 10 segundos no máximo. (BRUSE, 2000)

O ENVI-met possibilita, assim, a análise do microclima em escala local. Dentre as aplicações deste programa pode-se citar a Climatologia Urbana, o Planejamento Urbano e Ambiental e os Projetos de Edificações. O programa é capaz de simular o fluxo de ar em torno e entre os edifícios, a dispersão das partículas, a bioclimatologia, as turbulências, os processos de troca de calor e massa nas superfícies do solo, nas construções e quanto às vegetações. (BRUSE, 2011).

ENVI-met traz junto um software adicional (Leonardo®) que é um editor com ferramentas de visualização gráfica para a modelagem dos resultados por meio de mapas, cortes, ou planta que podem ser visualizados em 2D e 3D. Este programa é capaz ainda de gerar vetores de velocidade e direção do vento para cada grade (grid) do espaço simulado, o que possibilita a visualização dos efeitos aerodinâmicos dos ventos entre as edificações.

2.3.1 Estrutura do Programa ENVI-met

O software leva em consideração as seguintes características do local: o modelo da atmosfera (campo de vento, temperatura, vapor, umidade, poluentes), o modelo do solo (temperatura e umidade no interior do solo, corpos d'água, etc), o modelo de superfície (fluxos em superfícies horizontais e verticais, calçadas, telhados e paredes de edifícios, etc.), e o modelo de vegetação (temperatura folhagem, água, calor e troca de vapor com ar-copa, etc.).

| ATMOSFERE | SOIL SYSTEM | VEGETATION | SURFACES | BIOMETEOROLOGY | BEHIND THE SCENES |
|--|--|---|---|--|------------------------|
| <p>Wind</p> <p>Temperature</p> <p>Vapor</p> <p>Turbulence</p> <p>Pollutants</p> | <p>Temperature</p> <p>Water Flux</p> <p>Water Bodies</p> | <p>Foliage</p> <p>Temperature</p> <p>Heat Exchange</p> <p>Vapor exchange</p> <p>Water Interception</p> <p>Water Transport</p> | <p>Ground Surface Fluxes</p> <p>Fluxes at walls/ Roofs</p> <p>Heat transfer through Walls</p> | <p>PMV – Value</p> <p>The climBOTs</p> | <p>The Mathematics</p> |

Figura 9 - Aspectos Técnicos usados no ENVI-met. Fonte: ENVI-met 3.1 Manual. (BRUSE, 2011)

Existem muitos trabalhos já desenvolvidos que utilizaram ENVI-met para análise de microclimas urbanos. Ali-Toudert e Mayer (2007) buscaram avaliar a relação entre conforto térmico e a conformação volumétrica urbana, com a utilização do aplicativo. Neste estudo foram analisados seis casos hipotéticos de cânions urbanos que se diferenciavam quanto à relação altura do edifício e largura da rua (H/W), quanto a sombreamentos, existência ou não de árvores e de galerias. A simulação dos modelos propostos pelo ENVI-met permitiu a conclusão de que, quando estas variáveis são trabalhadas de maneira estratégica, e aliada com a orientação adequada da rua e da edificação, pode-se chegar a uma melhora substancial do microclima resultante.

Chatzidimitriou e Yannas (2004) analisaram o efeito microclimático dos edifícios sobre quatro quarteirões na cidade de Thessaloniki, Grécia. O software foi utilizado para investigar possíveis melhorias no conforto ambiental da área. As propostas se basearam no acréscimo de áreas verdes e de áreas sombreadas. Os resultados foram comparados com as medições in loco para o período do verão local.

2.3.2 Modelagem da Área de Estudo no ENVI-met

Para iniciar uma simulação usa-se a barra de inicialização do programa o item *Start the Area Input file editor*. Ao iniciar o aplicativo a tela do programa à esquerda há uma barra lateral onde são especificados cada um dos dados das edificações e vegetação, solo, receptores, dentre outros. Na tela à direita encontra-se a área a ser modelada segundo as configurações desejadas.

Para orientar a modelagem pode-se utilizar uma imagem de fundo (background bitmap), e a partir desta cada ponto da área de estudo passa a ser detalhada segundo as configurações oferecidas pela base de dados do programa.

Após a modelagem das edificações e posicionamentos de vegetação, tipo de solo, existência de fontes e receptores, etc; parte-se para o item da barra superior denominado *Change size of model or create a new model domain*, nesta janela é possível especificar o tamanho dos *grids* e *nesting grids* além de especificar as propriedades geográficas do local de análise. Em seguida a estas especificações pode-se salvar e fechar o arquivo modelado.

Na barra de inicialização do programa, o botão *Start the configuration file editor* cria o arquivo de configuração que poderá ser usado para qualquer simulação, visto que ele é selecionado como dado de entrada pelo programa ao iniciar uma simulação. Na aba *Add Section* podem ser acrescentadas informações adicionais que forem relevantes às simulações, como informações sobre parâmetros e variáveis necessárias para a análise da simulação.

Na barra de inicialização escolhe-se o próximo botão *Start Envi-met* selecionando a seguir uma das três opções de versão de trabalho: 100x100x30, 180x180x30 ou 250x250x30. Após a seleção abre-se uma nova janela – *ENVI-met Default Config* onde se unirão ao arquivos de modelagem criados ao arquivo de configuração elaborado. Nesta janela, na barra esquerda se encontram todas as opções de configuração a serem checadas e selecionadas de acordo com a necessidade de simulação. Na aba lateral direita, no item *Load Model Configuration* se consegue acrescentar o arquivo da área modelada, onde após isto pode-se editar as informações da área modelada, assim como do arquivo de configuração elaborado para as simulações.

No item *Test configuration* é feita uma checagem dos arquivos adicionados buscando-se possíveis erros de simulação, que podem assim, ser corrigidos antes

da inicialização do programa. Após a verificação e correção seleciona-se o item *Run model* para inicializar a simulação do modelo adicionado.

Com a finalização da simulação é gerada uma pasta com os dados de saída das simulações, em local definido anteriormente pelo usuário do programa. Estes dados estão com extensões próprias do software e separadas por subpastas dentro do diretório de *output* gerado. Estas extensões podem ser usadas por dois aplicativos do próprio ENVI-met, localizados na barra de inicialização do programa, denominados: *Start LEONARDO* e *Start Xtract*. O primeiro trabalha com a criação de mapas e gráficos, enquanto que o segundo é capaz de gerar em arquivo de leitura de todos os dados da simulação, de acordo com o arquivo de simulação escolhido e com os dados gerados selecionados.

Após a geração dos mapas, gráficos ou simplesmente obtenção dos dados de leitura específicos, pode-se tratar das análises comparativas, qualitativas ou quantitativas buscadas, de acordo com a necessidade.

Para a construção do arquivo referente a uma área qualquer a ser estudada, é necessário levar-se em consideração os seguintes dados:

a) Modelagem do entorno

Segundo Huttner, Bruse e Dostal (2008), não é possível simular o microclima de cidades inteiras, mas apenas pequenas porções. ENVI-met é um modelo 3D que usa uma malha uniforme com um máximo de cerca de 300x300x35 células e permite inserir diferentes desenhos urbanos, devido ao tamanho das células da grade, que podem apresentar um valor mínimo de 1m x 1m e uma altura máxima de alcance de 2.500m. Isto possibilita o detalhamento da modelagem de acordo com as necessidades espaciais do projeto avaliado.

O primeiro passo, portanto, é definir o tamanho da área (quantidade de células) e, em seguida, configurar o dimensionamento de cada grade (*grid*) nos eixos x, y, e z. É importante ressaltar a importância da utilização de “*nesting grids*” que criam uma área de transição em volta do modelo, com intuito de evitar erros de cálculos para ventilação e radiação nas bordas do modelo.

Em seguida parte-se para a modelagem do espaço construído, que é feito no próprio software, e pode ser orientado através da colocação de uma imagem em extensão bitmap como fundo. Para a configuração da modelagem urbana é preciso:

- a projeção em planta e altura dos edifícios, bem como a localização das vias existentes e dos espaçamentos entre as edificações;
- localização e tipo da vegetação existente (altura das árvores);
- tipos de solos e de revestimentos destes (asfalto, concreto, etc.) e sua distribuição pela área;
- orientação da área com relação ao norte geográfico.

b) Dados Climáticos

Os dados de entrada imprescindíveis para simulação são:

- Posição geográfica (latitude e longitude)
- Temperatura (K) a 2500m;
- Umidade específica ($g_{\text{água}}/kg_{\text{ar}}$) a 2500m;
- Velocidade dos ventos (m/s) a 10m;
- Direção dos ventos (0:N, 90:E, 180:S, 270:W) a 10m;
- Umidade relativa (%) a 2m;
- Coeficiente de rugosidade do terreno.

Podem ser acrescentados nas simulações dados referentes ao comportamento frente ao calor das superfícies (albedos e etc.), às camadas do solo (temperatura e umidade) e aos gases e partículas existentes na atmosfera (concentração de CO₂, diâmetro e densidade das partículas) entre outros.

É importante saber que o horário de início da simulação deve, segundo Bruse (2011), corresponder ao meio da noite ou início da manhã, isso porque o modelo numérico precisa de tempo de inicialização para obter valores confiáveis.

c) Outras informações de entrada

- A velocidade do vento a 10m do solo só é utilizada no início da simulação e é complementada pela rugosidade local.
- O valor da temperatura inicial da atmosfera, a 2500m do solo, define o valor de partida para todas as camadas da atmosfera a serem simuladas.
- A umidade específica é mantida constante durante a simulação.
- A umidade relativa à 2m é utilizada para calcular o gradiente de umidade na vertical do modelo, e só é utilizada na inicialização.

2.3.3 Resultados simulados

O ENVI-met oferece mais de cinquenta dados de saída (DPTAU, 2009), como parâmetros climatológicos (temperatura, umidade, etc.), parâmetros referentes às vegetações (quantidade de água armazenada nas folhas, temperatura destas, resistência dos estômatos etc.), composição atmosférica (concentração de gases e partículas, velocidade de deposição das partículas etc.) e índices de conforto (PMV etc.). Pode-se, assim, escolher aqueles parâmetros para os quais se deseja obter dados.

Os resultados são gerados em um único arquivo, mas pode-se fazer uso da opção “receptores”, que seleciona determinado ponto para análise, gerando arquivos separados que conterão os valores do resultado final para aquele determinado ponto da área de estudo. Recomenda-se que a simulação considere um período de estudo de no mínimo 6 horas (parâmetros de entrada do programa). A consideração de um período de estudo inferior gera resultados influenciados pela inicialização do programa, o que pode comprometer os dados finais.

2.3.4 Limitações do Software

Apesar de o software estar em constante modificação e melhoramento, ainda podem ser observadas algumas limitações em seu uso. Algumas delas, segundo as propostas do lançamento da futura versão 4.0, virão a ser solucionadas, como a inclusão da topografia nas simulações, detalhamento dos materiais construtivos constituintes, melhor definição de edifício e plantas que deixam de ser um bloco inteiriço, passando a ser mais detalhados. Porém, não existe ainda, no site oficial, nenhuma previsão de lançamento da versão futura.

Shinzato afirma em seus estudos, que trabalhos desenvolvidos por Spangenberg (2004, apud SHINZATO, 2009) aliados a contatos com Bruse, criador do software, introduzirão modificações no programa para análises e simulações de ENVI-met adequado ao contexto de climas tropicais.

Contudo, para a versão atual oficial, 3.1 Beta V, as principais limitações do modelo são:

- Dificuldade de utilização das “*nesting grids*” - área externa à área modelada, correspondente a área de transição do modelo, dependendo da dimensão da área

simulada, pois áreas de simulação muito extensas geram um tempo de simulação longo, (79h para simular as 24h do dia escolhido, no caso de estudo de Marcondes e Umakoshi (2007). Sendo que a não utilização desta opção ocasiona alteração nas resultantes de ventilação na porção voltada para os ventos dominantes (ASSIS, FERREIRA, SILVEIRA, 2006).

- Dificuldade de obtenção de dados climáticos a 2500m de altura a partir do solo (NAKATA, SOUZA, FARLA, 2009).

- O formato de grade ortogonal dos desenhos construídos não possibilita a percepção de curvas e linhas com inclinações diferenciadas, o que faz com que o desenho seja adaptado de acordo com as possibilidades das grades (JOHANSSON, 2011).

- Impossibilidade de cálculo de ventilação em ambiente detalhado, exemplo, pilotis (ASSIS, FERREIRA, SILVEIRA, 2006).

- Não consideração da massa térmica da fachada dos edifícios, mas somente a do solo (JOHANSSON, 2011).

- Temperatura interna do edifício constante durante toda a simulação, afetando os resultados da temperatura da superfície das fachadas e conseqüentemente a temperatura média radiante e temperatura do ar (JOHANSSON, 2011).

- Não possibilidade de inserção de novas equações matemáticas por parte do usuário. Ressalta-se que os efeitos térmicos não estacionários (queda ou aumento de temperatura ocorre de forma drástica) não são considerados (MARCONDES, UMAKHOSI, 2007).

- Não construção da volumetria da topografia local (ASSIS, FERREIRA, SILVEIRA, 2006).

- Não reprodução em simulação de ventos catabáticos (ventos que fluem das elevações das montanhas para os planos abaixo), devido à limitação de processamento dos computadores atuais (NAKATA, SOUZA, FARLA, 2009).

- A precisão do modelo pode ser reduzida se a velocidade de vento inserida na entrada da simulação for superior a 2m /s (KRÜGER, MINELLA, RASIA, 2011).

- Quanto às espécies de vegetação, a base de dados do programa podem não representar fielmente as espécies locais (KRÜGER, MINELLA, RASIA, 2011).

2.3.5 Estudos de Confiabilidade do ENVI-met

Muitos estudos atuais tratam da análise de desempenho térmico e ambiental urbano, por meio do uso do software ENVI-met. Grande parte dos trabalhos é apresentada em congressos, simpósios e conferências (nacionais e internacionais), além do uso acadêmico, como dissertações e teses.

As abordagens mais frequentes do uso do software nos estudos vem sendo experimentações sobre desempenho ambiental da arborização no meio urbano, análise dos parâmetros de formação de ilha de calor nos centros urbanos, estudos sobre a concentração de poluentes atmosféricos, estudos comparativos com ênfase em conforto térmico resultantes de abordagens sobre forma urbana, acesso solar, fator de céu visível (FCV), e impactos de microclima causados pelo uso e ocupação do solo.

Porém, apesar de vários destes apresentarem comparações entre dados simulados e dados coletados in loco, quanto a dados climáticos, poucos trabalhos realmente usam destas informações para fazer estudos mais aprofundados de verificação sobre a eficiência e aplicabilidade do ENVI-met ao meio urbano.

Em 2006, Assis, Ferreira e Silveira, relataram em seus estudos que a utilização do programa, que estaria em fase experimental, seria muito útil em análises de planejamento urbano e em projetos de edificações. Contudo, apontam que seriam necessários mais estudos para verificação da confiabilidade do software aplicado em meio urbano nos trópicos.

Autores como Silva e Romero (2009), por outro lado, consideraram em suas análises que o programa se mostrou adequado para a simulação de áreas urbanas, considerando irrelevantes as limitações encontradas.

Contudo, estes trabalhos não apresentam estudos paramétricos de verificação de dados em comparação com dados reais coletados, de modo a averiguar a real aplicabilidade do uso do simulador em espaços urbanos e áreas tropicais.

Nakata, Souza e Faria (2009) realizaram medições de temperatura em dois pontos de referência e compararam com os dados simulados pelo programa. Na Figura 10 podemos ver o gráfico de curvas de temperaturas resultantes para o ponto 2, onde a curva do sétimo dia foi a que se aproximou mais do dia real. O método foi realizado para dois fragmentos urbanos para diferentes condições térmicas e se

concluiu que o simulador tem certa precisão, porém, salienta que o modelo deve ser ajustado para a localidade antes da aplicação.

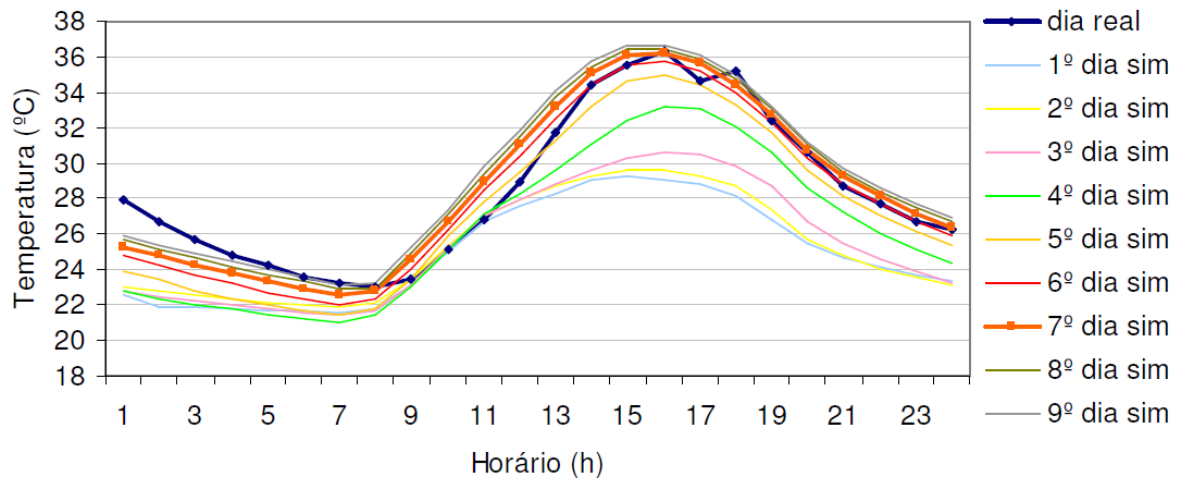


Figura 10 - Gráfico comparativo curvas de temperaturas simuladas no ENVI-met com a das temperaturas medidas do ponto 2. Fonte: Nakata, Souza e Faria (2009).

Shinzato (2009) realizou outra pesquisa, onde a partir dos dados coletados para uma certa a área de estudo se fez uma simulação. A intenção era a de confrontar os resultados de temperatura finais obtidos. A Figura 11 demonstra a diferença entre os dados coletados com os dados simulados para a região.

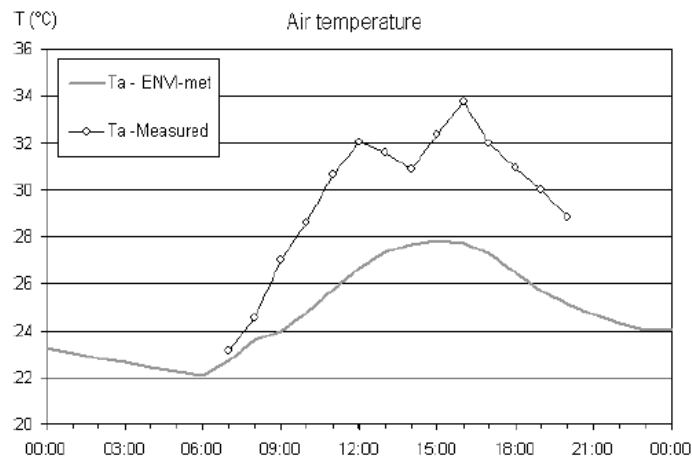


Figura 11 – Comparação entre temperaturas do ar medidas e simuladas. (configuração inicial) Fonte: Shinzato, 2009.

Com a diferença significativa entre os resultados encontrados, Shinzato opta por realizar um ajuste dos dados de entrada, alterando um parâmetro por vez (Figura 12), para que os valores dos finais de temperatura se aproximem dos valores medidos in loco.

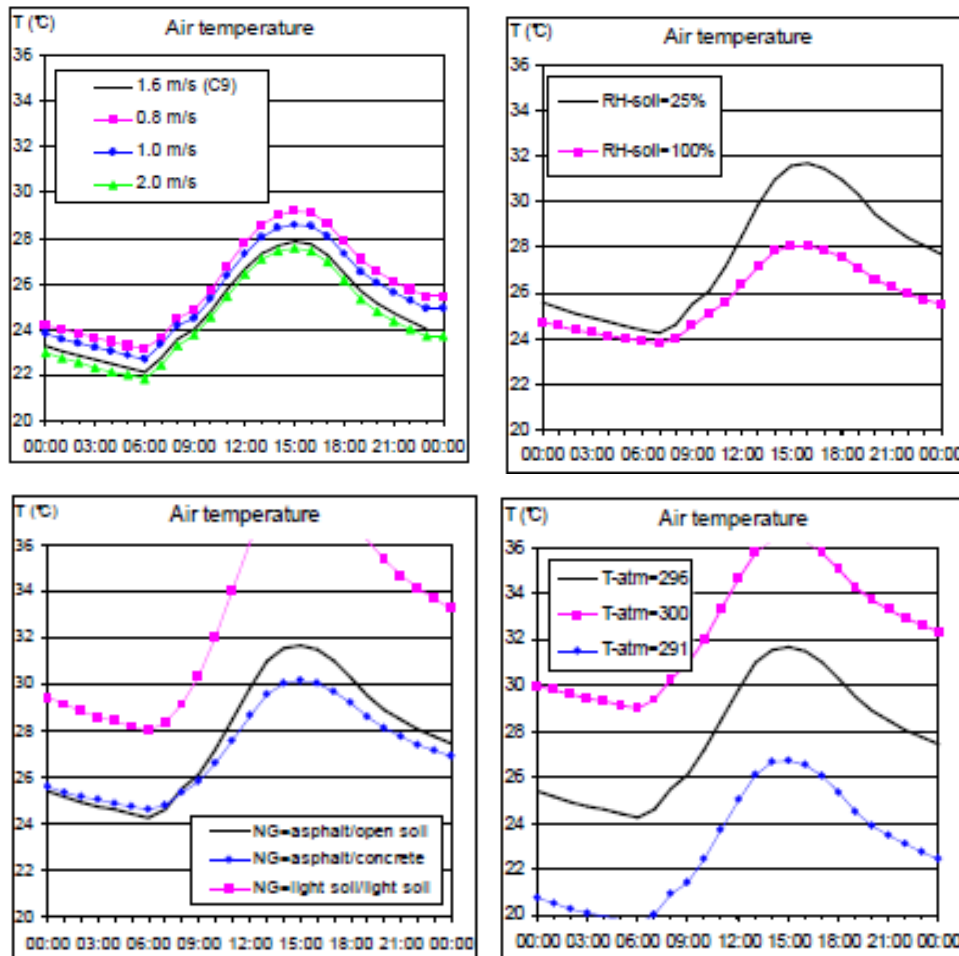


Figura 12 – Gráficos de ajustes. Parâmetros alterados: velocidade dos ventos, temperatura inicial, *nesting grids* e umidade relativa, respectivamente. Fonte: Shinzato, 2009.

Através dos ajustes se obteve uma maior aproximação da curva de temperatura do ar do modelo em relação às medições em campo, com leve atraso no aquecimento e resfriamento das temperaturas do ar até o horário de 16h (Figura 13). Porém, mesmo assim, os dados finais simulados por Shinzato, foram considerados bem próximos dos reais, validando o software.

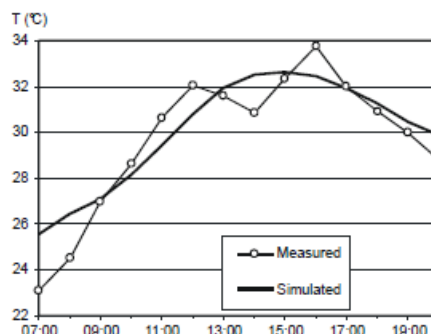


Figura 13 - Comparação entre temperaturas do ar medidas e simuladas (configuração final). Fonte: Shinzato, 2009.

No trabalho de Carfan, Galvani e Nery (2008) foi feita uma comparação da evolução das temperaturas no decorrer de 24h, para duas áreas urbanas em

análise: uma com a altura real das construções existentes no local e outra com uma diminuição de quatro vezes a altura real. Os resultados comparavam os dados reais aos simulados em gráficos evolutivos de temperatura por horários do dia, além de gráficos de regressão para os dois estudos (figuras 14, 15 e 16). O trabalho concluiu que as simulações foram satisfatórias, considerando-o viável para análise de temperatura; porém dados como umidade relativa e intensidade e direção do vento não foram confrontadas.

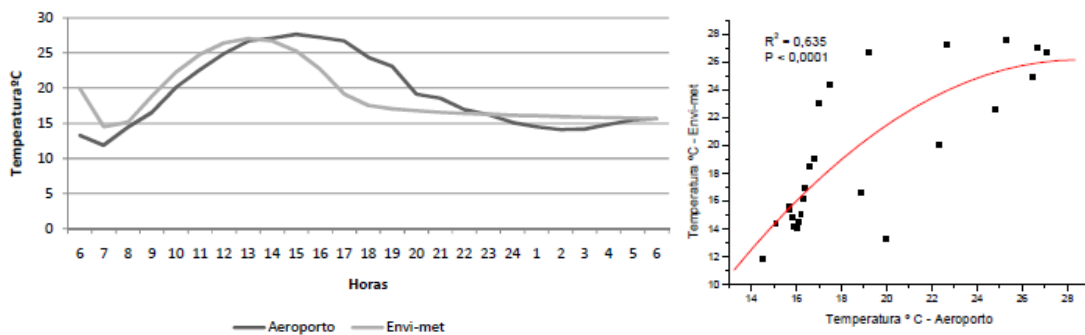


Figura 14 – Gráfico de comparação de temperatura simulada e coletada, e gráfico de regressão para o local 1 – Aeroporto. Fonte: Carfan, Galvani e Nery (2008).

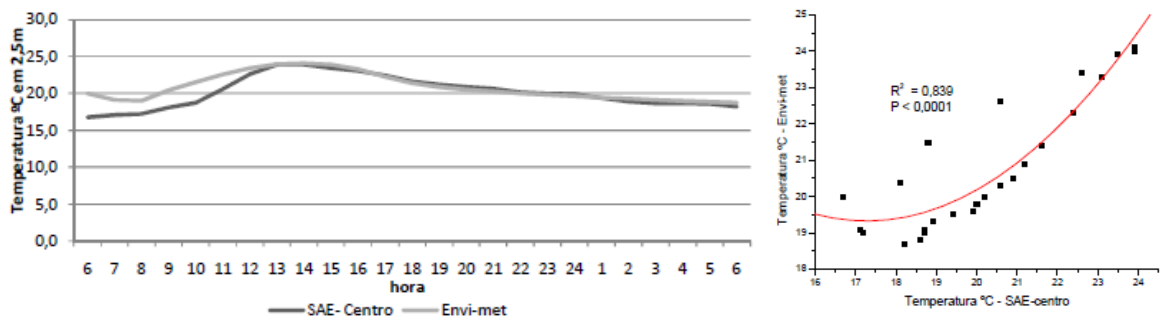


Figura 15 – Gráfico de comparação de temperatura simulada e coletada, e gráfico de regressão para o local 2 – SAE- Centro. Fonte: Carfan, Galvani e Nery (2008).

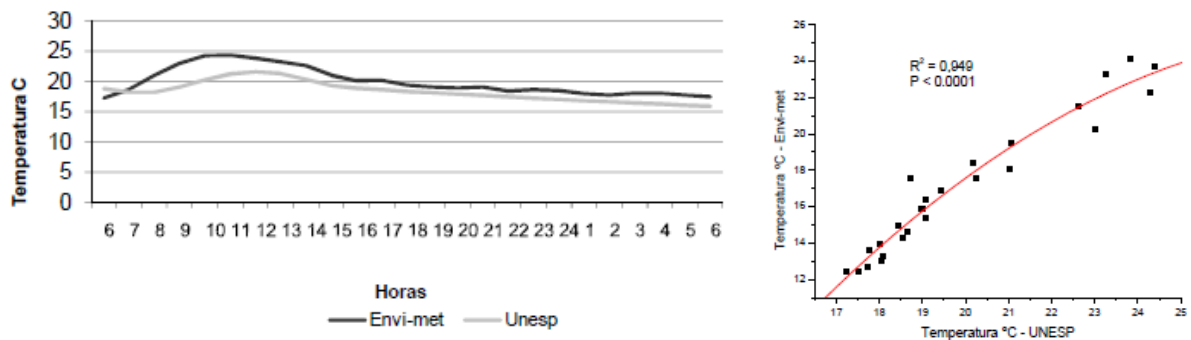


Figura 16 – Gráfico de comparação de temperatura simulada e coletada, e gráfico de regressão para o local 3 – UNESP. Fonte: Carfan, Galvani e Nery (2008).

Considerando todos estes trabalhos, foi possível entender o funcionamento e limitações do programa, e então, de acordo com estudos de confiabilidade existentes, poder ponderar quais metodologias de avaliação e aplicação do modelo são mais adequadas para o caso da cidade de Juiz de Fora.

3 CARACTERIZAÇÃO E DEFINIÇÃO DO AMBIENTE URBANO EM ESTUDO

Este item aborda as características gerais da cidade de Juiz de Fora, como extensão, localização, população, características climáticas, meses críticos e normais climatológicas para a cidade.

3.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS

O município de Juiz de Fora foi escolhido como área de estudo devido às poucas pesquisas desenvolvidas sobre este tema na cidade, bem como pela atual discussão em contexto nos últimos anos sobre os índices de uso e ocupação adotados pela atual legislação e suas consequências para o conforto urbano.

Juiz de Fora, possui uma área de 725,975 km² de extensão e está localizada a Sudeste do Estado de Minas Gerais, mesorregião Geográfica da Zona da Mata Mineira, microrregião 065 (PJF, 2009).



Figura 17 - Localização de Juiz de Fora em Minas Gerais. Fonte: JUIZ DE FORA (2000)

Localizada a 21,77° de latitude Sul e 43,35° de longitude Oeste (Figura 17), sua altitude varia, sendo sua máxima de 1.104m e mínima de 467m, possuindo o centro comercial uma altitude de 678m. (PJF, 2009)

Sua população no ano 2000 era de 456.796 habitantes, sendo que neste período, cerca de 98,62% da mesma residia na área urbana e apenas 1,38% na

área rural. No censo de 2000 a comparação entre população urbana x rural para a cidade de Juiz de Fora era maior que o percentual médio para todo o estado de Minas Gerais, assim como para a média brasileira. (Figura 18)

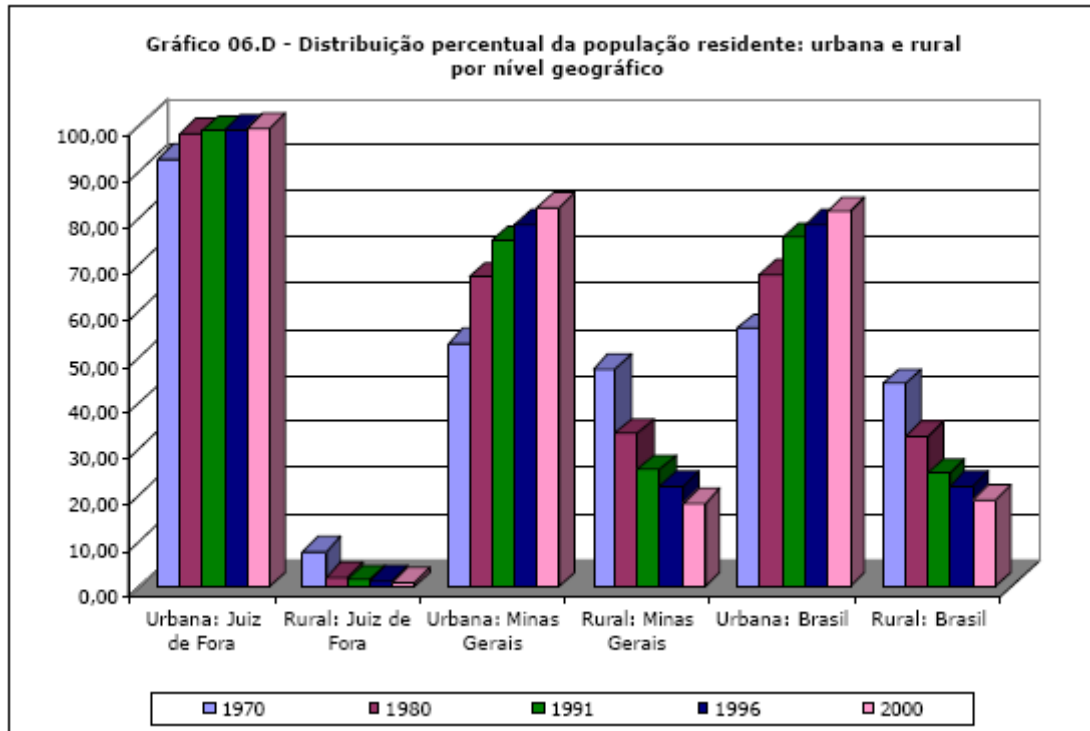


Figura 18 – Gráfico de Distribuição da população. Fonte: PJF, 2009.

Para o censo 2010 (IBGE, 2010), os dados recém-divulgados demonstram que a população urbana da cidade cresceu 13,37%, passando para um total de 517.872 habitantes, estabelecendo-se no ranking de 4^a cidade mais populosa de Minas Gerais. A taxa de crescimento da cidade foi superior à taxa média de crescimento para todo o estado, que foi de 9,52%. Apesar disso, houve um pequeno decréscimo, em 2010, na taxa de população residindo na área urbana em Juiz de Fora; que passou para 98%. Porém seu índice continua superior às taxas para Minas Gerais (85,29%) e Brasil (84,35%).

Segundo o Censo de 2010, 67 cidades Brasileiras têm 100% de sua população vivendo em situação urbana, e outros 775 municípios possuem mais de 90% de seus habitantes vivendo no meio urbano.

A verificação do elevado índice de população vivendo em áreas urbanas na cidade de Juiz de Fora, acompanhado do fato do mesmo ser superior aos níveis estadual e nacional, vem a dar mais ênfase à necessidade de estudo do crescimento urbano que vem sendo adotado na cidade e principalmente nas suas consequências climáticas e de conforto urbano.

3.2 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS E NORMAIS CLIMATOLÓGICAS

O clima da cidade de Juiz de Fora é o Tropical de Altitude – Cwa. Este tipo de clima se caracteriza por grandes amplitudes térmicas anuais, com verão quente e úmido enquanto apresenta o inverno frio e seco.

A Tabela 1 apresenta a média anual de temperatura para cada mês por ano, assim como a média mensal final. Com sua análise se pode verificar que o mês mais quente do verão é o mês de fevereiro, enquanto que o mês mais frio do inverno é o de julho.

Tabela 1 – Temperatura média anual para cada mês, de 1996 a 2005. Fonte: LabCAA. (UFJF, 2008)

| Mês | 1977 | 1985 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | Média |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Janeiro | | | 22,2 | 21,2 | 22,3 | 22,3 | 21,3 | 22,1 | 21,1 | 21,8 | 20,7 | 21,3 | 21,6 |
| Fevereiro | | | 22,0 | 22,0 | 23,1 | 22,3 | 21,5 | 22,8 | 20,1 | 23,6 | 20,8 | 20,6 | 21,9 |
| Março | | | 21,2 | 19,7 | 21,9 | 21,0 | 20,3 | 21,7 | 21,5 | 21,4 | 20,1 | 21,5 | 21,0 |
| Abril | | | 19,3 | 19,0 | 20,4 | 19,0 | 19,1 | 21,2 | 21,0 | 20,2 | 19,9 | 20,8 | 20,0 |
| Mai | | | 16,5 | 16,3 | 17,5 | 16,7 | 17,2 | 17,9 | | 17,5 | 17,3 | 18,5 | 17,3 |
| Junho | | | 16,1 | 16,8 | 15,6 | 16,1 | 17,1 | 17,3 | 18,0 | 18,3 | 16,8 | 17,3 | 16,9 |
| Julho | | | 15,0 | 17,2 | 16,4 | 15,8 | 15,2 | 16,7 | 16,5 | 16,9 | 14,9 | 16,0 | 16,1 |
| Agosto | | | 15,4 | 17,4 | 18,9 | 16,3 | 16,8 | 17,0 | 19,3 | 15,9 | 16,4 | 18,4 | 17,2 |
| Setembro | | | 16,9 | 18,9 | 18,8 | 18,3 | 17,1 | 17,0 | 17,2 | 17,6 | 19,6 | 17,6 | 17,9 |
| Outubro | | | 18,1 | 19,8 | 18,4 | 17,0 | 21,4 | 18,4 | 22,2 | 19,1 | 18,6 | 21,1 | 19,4 |
| Novembro | | | 18,7 | 21,5 | 18,2 | 18,0 | 19,6 | 19,7 | 21,2 | 19,8 | 19,7 | 19,1 | 19,6 |
| Dezembro | | | 21,0 | 22,0 | 21,5 | 20,4 | 21,0 | 20,5 | 21,7 | 21,2 | 20,1 | 19,8 | 20,9 |
| Média anual | | | 18,5 | 19,3 | 19,4 | 18,6 | 19,0 | 19,4 | n.d. | 19,4 | 18,7 | 19,3 | |

Na Figura 19 temos a Carta Bioclimática de Givoni³ para a cidade de Juiz de Fora, onde se pode ver as zonas climáticas abrangidas pelos meses do ano separadamente. No caso de Juiz de Fora, de acordo com a Carta bioclimática gerada para a cidade pelo programa Analysis BIO (LabEEE, 2011), os meses de fevereiro e julho abrangem as estratégias de Aquecimento Solar Passivo, Ventilação e Alta Inércia Térmica/Aquecimento Solar. Estas estratégias servem para orientarem propostas bioclimáticas para projetos.

³ Segundo Lamberts (1997) as cartas bioclimáticas são constituídas sobre o diagrama psicrométrico, que relaciona a temperatura do ar e a umidade relativa. Com os valores destas variáveis climáticas para os principais períodos do ano climático de uma localidade, pode-se, segundo o parâmetro estabelecido por Givoni, obter indicações sobre as estratégias bioclimáticas a serem adotadas no desenho do edifício ou do espaço aberto.

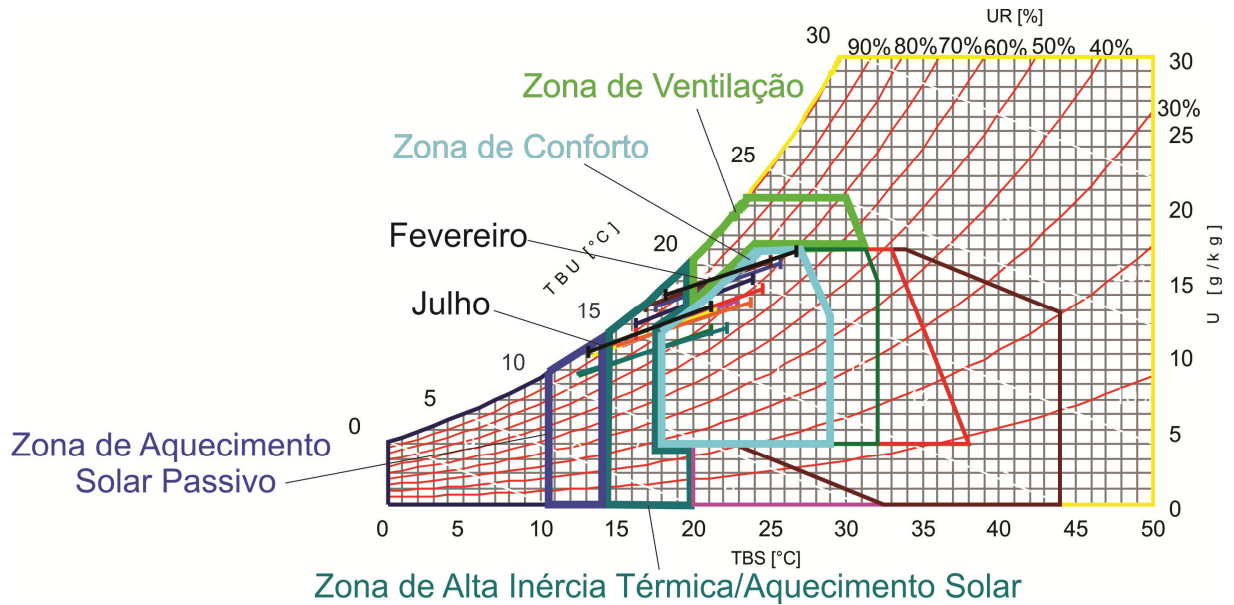


Figura 19 - Carta Bioclimática de Givoni para Juiz De Fora. Fonte: Software Analysis Bio.

Relacionando os meses críticos para o verão e inverno com a avaliação bioclimática, temos que a leitura da carta⁴ em porcentagem de zonas mais abrangidas para os meses referidos se apresenta segundo as figuras 20 e 21.

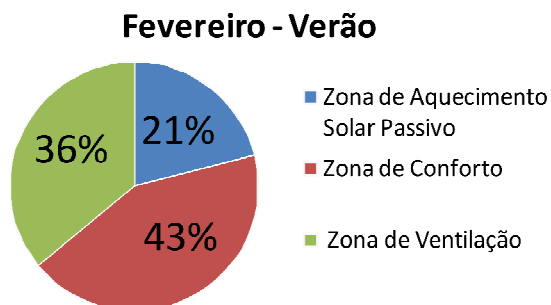


Figura 20 – Zonas abrangidas - mês de Fevereiro. Fonte: Autor

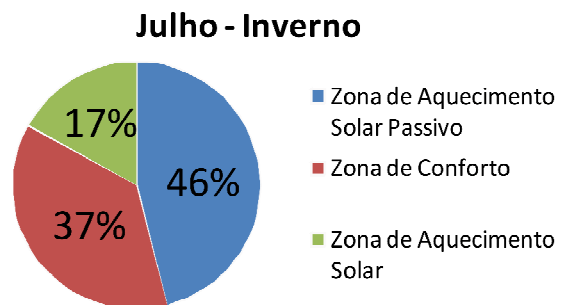


Figura 21- Zonas abrangidas - mês de Julho. Fonte: Autor

Com estes dados pode-se concluir que durante o verão, em 43% do tempo as pessoas se sentem em conforto térmico no ambiente interior. Em 36% do período é necessário o uso de estratégias de ventilação para melhorar a sensação térmica; e nos outros 21% do tempo é necessário recorrer ao uso do aquecimento solar passivo. Enquanto que no inverno devem-se prever soluções que se adéquem às estratégias para a zona de aquecimento solar passivo e aquecimento solar e massa térmica, que juntos correspondem a 63% do período.

⁴ Segundo o relatório gerado pelo software Analysis Bio para Juiz de Fora_ software de uso livre disponível em <http://www.labee.ufsc.br/software/analysisBIO.html>

Para uma área de amplitudes térmicas tão variadas como em Juiz de Fora, onde no verão se busca estratégias de ventilação, enquanto no inverno busca-se o ganho de calor solar, um projeto deve se adequar a duas áreas bioclimáticas diferenciadas, para que o projeto seja considerado confortável para seus usuários e moradores durante as estações mais extremas.

As normais climatológicas relativas à cidade são apresentadas na tabela 6, a seguir, calculadas para a série de cinco anos mais recentes (2005-2009) originadas do Laboratório de Climatologia e Análise Ambiental do Departamento de Geociências do Instituto de Ciências Humanas da Universidade Federal de Juiz de Fora – LabCAA.

O período de inverno não foi analisado neste trabalho, pois houve a intenção de verificar os impactos urbanos causados para a estação quente do ano, sendo assim, esta análise não discorre sobre os impactos urbanos resultantes para a temporada de frio do ano.

A média dos dados climatológicos para o mês de fevereiro será tratada em simulações descritas *à posteriori*, que terão o intuito de analisar o impacto das conformações urbanas no conforto térmico dos habitantes para o mês representativo da estação de verão.

De acordo com a necessidade do estudo a ser realizado, optou-se por analisar o mês de fevereiro nas simulações propostas, devido ao fato deste mês se comportar como o mais quente do ano, conforme o levantamento do LabCAA descrito na tabela 2.

Tabela 2 – Dados Meteorológicos JF (2005 a 2009). Fonte: LabCAA. (UFJF, 2011) - Adaptado

| Mês: Fevereiro de 2005 | VENTO (velocidade) | | TEMPERATURA | | UMIDADE REL.(%) | | vento predominante |
|------------------------|--------------------|-----|-------------|------|-----------------|------|--------------------|
| HORÁRIO | 12h | 18h | 12h | 18h | 12h | 18h | NW |
| MÉDIA | 2,9 | 3,3 | 20,2 | 25,0 | 86,8 | 66,7 | |
| MÁXIMO | 7,0 | 5,0 | 24,0 | 29,4 | 98,0 | 92,0 | |
| MÍNIMO | 1 | 1 | 17,0 | 20,6 | 74,0 | 45,0 | |
| Mês: Fevereiro de 2006 | VENTO (velocidade) | | TEMPERATURA | | UMIDADE REL.(%) | | NE |
| HORÁRIO | 12h | 18h | 12h | 18h | 12h | 18h | |
| MÉDIA | 3,2 | 2,5 | 22,6 | 27,4 | 82,4 | 63,3 | |
| MÁXIMO | 5,0 | 7,0 | 25,8 | 31,0 | 100,0 | 96,0 | |
| MÍNIMO | 1,0 | 1,0 | 19,4 | 20,4 | 59,0 | 39,0 | |
| Mês: Fevereiro de 2007 | VENTO (velocidade) | | TEMPERATURA | | UMIDADE REL.(%) | | NE |
| HORÁRIO | 12h | 18h | 12h | 18h | 12h | 18h | |
| MÉDIA | 3,3 | 3,7 | 21,2 | 26,2 | 84,4 | 62,8 | |
| MÁXIMO | 5,0 | 9,0 | 24,2 | 30,0 | 95,0 | 91,0 | |
| MÍNIMO | 1,0 | 0,0 | 17,4 | 17,8 | 72,0 | 46,0 | |
| Mês: Fevereiro de 2008 | VENTO (velocidade) | | TEMPERATURA | | UMIDADE REL.(%) | | NW |
| HORÁRIO | 12h | 18h | 12h | 18h | 12h | 18h | |
| MÉDIA | 2,9 | 2,9 | 20,7 | 24,8 | 86,8 | 69,4 | |
| MÁXIMO | 5,0 | 5,0 | 24,2 | 30,8 | 100,0 | 97,0 | |
| MÍNIMO | 1,0 | 1,0 | 17,4 | 19,4 | 67,0 | 45,0 | |
| Mês: Fevereiro de 2009 | VENTO (velocidade) | | TEMPERATURA | | UMIDADE REL.(%) | | NE |
| HORÁRIO | 12h | 18h | 12h | 18h | 12h | 18h | |
| MÉDIA | 2,8 | 2,4 | 22,0 | 26,2 | 85,2 | 67,4 | |
| MÁXIMO | 5,0 | 6,0 | 28,0 | 29,8 | 100,0 | 96,0 | |
| MÍNIMO | 1,0 | 1,0 | 16,6 | 18,8 | 63,0 | 52,0 | |

Ao analisar as médias totais para os anos descritos, para o horário de coleta de dados de 12h e 18h, respectivamente, chega-se aos valores da Tabela 3 a seguir.

Tabela 3– Dados climáticos - JF Médias. Fonte: LabCAA. (UFJF, 2011)- Adaptado.

| Fevereiro 2005 a 2009 | VENTO (velocidade) | | TEMPERATURA | | UMIDADE REL.(%) | | vento predominante |
|-----------------------|--------------------|-----|-------------|------|-----------------|------|--------------------|
| HORÁRIO | 12h | 18h | 12h | 18h | 12h | 18h | NE |
| MÉDIA | 3,0 | 3,0 | 21,3 | 25,9 | 85,1 | 65,9 | |
| MÁXIMO | 5,4 | 6,4 | 25,2 | 30,2 | 98,6 | 94,4 | |
| MÍNIMO | 1,0 | 0,8 | 17,6 | 19,4 | 67,0 | 45,4 | |

Em termos dos ventos, a relação para as médias dos meses de fevereiro (2005 a 2009) demonstrados na tabela acima, apresenta como direção predominante dos ventos o quadrante norte, o que, aliado à depressão ao longo do fundo de vale do Rio Paraibuna e ao conjunto montanhoso da cidade, acaba por formar um corredor preferencial de deslocamento de massas de ar norte - sul, se dirigindo assim, para o centro urbano da cidade. (Figura 22)



Figura 22 – Direção Preferencial dos ventos para o centro de Juiz de Fora. Fonte: SPU (2009). Adaptado. Sem Escala.

3.3 NORMAS E REGULAMENTAÇÕES PARA JUIZ DE FORA

Com a consolidação de Juiz de Fora como pólo regional da Zona da Mata Mineira (JUIZ DE FORA, 2000), importantes mudanças ocorreram na estrutura física e espacial da cidade. Com a necessidade de desenvolvimento somada à difícil topografia de seu território, Juiz de Fora já apresenta alguns transtornos decorrentes de um crescimento desordenado. Cada vez mais a demanda em infra-estrutura e serviços urbanos aumenta e as habitações e o sistema de tráfego dão mostras de saturação em suas principais artérias. Estes são problemas comuns ao processo de urbanização das cidades brasileiras e, também estão presentes em Juiz de Fora.

É sabido que toda cidade necessita se expandir e atender às demandas geradas por seu crescimento. Contudo, é preciso criar uma estrutura que suporte as exigências do desenvolvimento e as mesmas devem garantir a qualidade de vida dos habitantes.

Com já foi dito, os meios de se garantir o crescimento urbano aliado à criação de um microclima agradável aos usuários deveriam ser, primeiramente, diretrizes contempladas no Plano Diretor de Juiz de Fora – Lei N° 9811 (JUIZ DE FORA, 2000) e pelas demais leis complementares, como por exemplo, Código de obras, Parcelamento do Solo e Uso e Ocupação do solo. Para verificar essa adequação vamos analisar as atuais leis urbanas e suas propostas para a ordenação da cidade.

3.3.1 Plano Diretor

O Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Juiz da Fora (PDDU) (Juiz de fora, 2000) foi elaborado em 27 de junho de 2000, e serve como um importante instrumento para a busca desses objetivos, pois é o documento norteador das políticas e ações destinadas a promover o desenvolvimento equilibrado do município.

Sua função é embasar as legislações complementares que vão gerar mecanismos mais específicos de controle no processo de edificação e de uso e ocupação do solo das cidades que buscam interagir com o clima e com as necessidades de conforto humano de maneira mais sustentável. (SOUZA et al, 2007)

Segundo a apresentação da Lei Municipal N° 9811 (JUIZ DE FORA, 2000), no que concerne à sua elaboração:

O conjunto de propostas contido neste Plano prepara o caminho para outras importantes e fundamentais modificações necessárias ao ordenamento físico e social da cidade dentro dessa nova ótica. As regras para o parcelamento, uso e ocupação do solo devem refletir tais conceitos e atuar na transformação das relações da população com o espaço construído e o meio ambiente. Em outras palavras, devem refletir as preocupações com a ocupação equilibrada do solo tendo em vista as questões sociais, técnicas e econômicas, preservando o meio ambiente e otimizando os recursos investidos em infra-estrutura.

Dentre suas premissas se lê que o mesmo tem por diretrizes (JUIZ DE FORA, 2000):

- Estabelecer um sistema integrado de planejamento urbano e ambiental;
- Orientar a urbanificação da mancha urbana de acordo com as tendências de desenvolvimento econômico da cidade, compatibilizando o uso e ocupação do solo com a proteção ao meio ambiente natural e construído;
- Garantir acessibilidade satisfatória à população de todos os rincões da cidade, ao mesmo tempo em que mantendo ou reduzindo os índices prevaletentes de poluição ambiental;
- Promover a distribuição dos serviços públicos e dos equipamentos urbanos de uma forma socialmente justa e espacialmente equilibrada. - identicamente no que diz respeito a áreas verdes e programas habitacionais.
- Manter a vitalidade econômica do Centro da cidade através do estímulo à continuidade da concentração de atividades e lutando contra os impactos negativos por ela criadas.
- Revisar a legislação urbanística e edilícia, alterando os padrões de parcelamento e edificação nas áreas indicadas para isto;
- Estabelecer em conjunto com órgãos ambientais estaduais e federais, a UFJF e outras instituições de pesquisa, projetos de mapeamento da vegetação e cadastramento da fauna e da flora, inclusive da arborização urbana, estabelecendo também programas e projetos de recuperação de ecossistemas.
- Fixar as normas e padrões ambientais necessários para assegurar a qualidade do meio ambiente, estabelecendo, inclusive, as devidas penalidades às infrações que vierem a ocorrer.

- Implantar programas de controle à poluição bem como um processo permanente de avaliação de impacto ambiental, incorporando a eles, de forma integrada à União e ao Estado, o gerenciamento dos recursos hídricos da cidade.
- Formular e executar projetos e atividades que visem preservar, revitalizar ou reabilitar as áreas de interesse arquitetônico, urbanístico e/ou paisagístico.

O PDDU discorre sobre todas as áreas de interesse, proteção e planejamento, dando ênfase na Área Central que, em situação limite de degradação (ZAMBRANO et al, 2007), é objeto de um Programa Especial no PDDU em função da sua importância econômica, cultural, social e urbanística. O Plano diretor afirma a existência do conflito crescente entre o tráfego veicular e o trânsito de pedestres, evento que estimularia a procura de novas alternativas para o trânsito e o transporte.

Outro aspecto a ser analisado é o Relatório de Impacto de Vizinhança que, segundo o PDDU, deve ser elaborado sempre que houver interesse de implantação de Empreendimentos de Impacto, entendidos como projetos que, pelo seu porte e ou localização, possam alterar, significativamente, os padrões urbanísticos da sua área de influência. Deve ser preparado pelo IPPLAN/JF (Instituto de Pesquisa e Planejamento de Juiz de Fora), que atua na formulação e implantação de políticas públicas do município, e deve analisar aspectos relativos ao sistema de circulação e tráfego, infra-estrutura instalada, poluição sonora e do ar, serviços e equipamentos comunitários e interesse histórico, cultural e paisagístico.

O Plano Diretor da cidade ainda dispõe de algumas ferramentas de uso público, como a “Operação Urbana” que compreende a formulação de proposta específica a ser apresentada ao Executivo com intenção de intervenções tais como: aberturas de vias ou melhorias no sistema viário, tratamento urbanístico ou implantação de equipamentos públicos, proteção ou recuperação do patrimônio histórico ou ambiental.

Apesar da observação apresentada sobre presença de degradação da área central urbana de Juiz de Fora e da também existência de um Programa Especial de planejamento para esta região, já na elaboração do PDDU em 2000, nenhuma mudança efetiva foi feita nos requisitos de zoneamento, uso e parcelamento do solo, normas edilícias ou até mesmo estudos mais aprofundados que pudessem vir a nortear essas revisões.

Este fato demonstra contradições em sua execução, já que sendo um documento elaborado no ano de 2000 (14 anos depois das legislações urbanas complementares - 1986), o plano de desenvolvimento urbano – PDDU, deveria considerar o estudo e revisão dessas leis anteriores, com intuito de verificar sua adequabilidade à espacialidade e complexidade urbana da época e buscando prever o crescimento urbano da cidade.

Também é notável a inexistência de normas específicas sobre os índices máximos de poluição sonora (mapas de zoneamento de ruído) ou do ar permitidos; de estudos mais aprofundados no que concerne às condições mais adequadas para microclima locais; sombreamento e ventilação natural, causados pelas edificações nas épocas críticas de inverno e verão; percepção da qualidade e quantidade dos espaços livres estruturados internamente aos lotes, o que estabelece relação direta com área verde e permeabilidade do solo; e até mesmo definição de critérios e limites relativos ao adensamento para estas áreas, o que influi maciçamente no sistema viário e infra-estrutura urbana da cidade.

3.3.2 Parcelamento do Solo

O parcelamento do solo Lei Municipal N° 6908 estabelece, por sua vez, critérios para a implementação de loteamentos e tem como objetivo criar relação entre o meio natural e o indivíduo.

Com finalidade de ordenar o crescimento da cidade a lei institui as zonas de parcelamento do solo, as circunstâncias em que estas áreas não permitiriam o parcelamento, como área inundável, alta declividade, de preservação ecológica, etc.; sobre a criação das áreas “*non edificandi*” junto às rodovias, estradas de ferro e vicinais, e ao longo de cursos d’água. Discorre ainda nos anexos da lei sobre dimensões mínimas para caixa de rua segundo sua classificação, sobre as características geométricas da via urbanas e sobre as áreas mínimas de loteamento permitido para a cidade segundo os 8 Modelos de Ocupação existentes.

Para situações de verão quente, que é o foco deste trabalho, pode-se somar a importância de estudos acadêmicos realizados na área de conforto ambiental, que propõem que o parcelamento do solo deva discorrer sobre orientação preferencial do lote com o eixo longitudinal no sentido leste/oeste de maneira a evitar ganhos excessivos de calor por parte das construções. Além disso, estudos e simulações

permitiriam verificar se as testadas e áreas mínimas dos lotes permitidas por lei garantem acessibilidade ao sol, vento e luz (SOUZA et al, 2007). Nota-se que tudo isso é ignorado pela lei n° 6908.

3.3.3 Código de Obras

A Lei Municipal N° 6909, entre outras, dispõe sobre parâmetros específicos que vem a permitir atender a padrões mínimos de conforto ambiental considerando a ventilação e iluminação naturais, a qualidade do ar e insolação. Isso através de leis que regulamentam as áreas mínimas permitidas para ambientes de permanência prolongada, transitória e de uso especial; os dimensionamentos mínimos dos vãos de iluminação e ventilação, dos pés-direitos, corredores; regras para dimensionamentos de escadas e elevadores de acordo com sua utilização; além de estabelecer critérios para locação de marquises e tapumes, estacionamentos e segurança contra incêndio.

Podemos identificar que o código de obras não trata de especificações de materiais construtivos mais adequados as condições climáticas do meio, às suas propriedades de absorção e reflexão de calor e luz, ou à orientação das aberturas que garantirá maior, ou melhor, ventilação e iluminação naturais. Além disso, nenhum estudo foi feito que comprovasse que a área de abertura mínima estabelecida pela lei realmente garante estes índices mínimos de conforto ao usuário. Estudos sobre legislações em outras cidades (LEDER et al, 2007) demonstram que esta lei nem ao menos leva em consideração a obstrução do céu visível, ocasionada devido à crescente verticalização edilícia, que influi drasticamente na iluminação natural das edificações e das fachadas.

3.3.4 Uso e Ocupação do Solo

Através da Lei N° 6910 são criadas diretrizes que visam compatibilizar as densidades e atividades urbanas às condições ambientais mínimas de conforto humano. A divisão das Unidades Territoriais (UT) e do zoneamento urbano (JUIZ DE FORA, 1997), definido por esta lei, tem como finalidade definir a localização das atividades existentes na cidade de acordo com as características físico-urbanísticas e socioeconômicas de cada uma.

A cidade então é dividida em quatro UTs que se classificam em quatro tipos de Zonas de uso e ocupação do solo, e que possuem subdivisões de acordo com suas UTs, modelo de ocupação, categoria de uso, etc.

Outros dados importantes são as dimensões de área ocupada, área edificada e área de impermeabilização, delimitados respectivamente pela taxa de ocupação, coeficiente de aproveitamento do solo e taxa de impermeabilização, que são estabelecidos para cada modelo de ocupação existente. Este também define parâmetros para a quantidade máxima de unidades edificadas por lote, dimensões mínimas para área de estacionamento, o gabarito máximo das edificações (diretamente relacionado à caixa de rua), as categorias de uso permitidas além da descrição dos índices característicos de cada modelo de ocupação.

Um fato contraditório apresentado por esta lei é sobre a taxa de impermeabilidade máxima para qualquer lote, que deve corresponder a até 90% da área do terreno, exceto nos casos em que a taxa de ocupação seja de 100%. Ou seja, tendo em vista que existem doze modelos de ocupação para a cidade, e que sete modelos permitem taxa de ocupação máxima de 100% da área do terreno para o primeiro, segundo e até terceiro pavimentos, dependendo do modelo de ocupação adotado, conclui-se que haverá grande quantidade de lotes com 100% de impermeabilização, e os que não o forem, podem alcançar até 90% de taxa de impermeabilização do solo.

Ao analisarmos o significado desses valores percebemos que toda a área central mesmo possuindo lotes que na sua maioria apresentam até 65% de taxa de ocupação podem, de acordo com a Lei, alcançar até 90% de impermeabilidade do solo. Fato que ao se somar com os lotes que permitem 100% de taxa de ocupação e impermeabilidade do solo resultarão em terrenos que não garantirão a permeabilidade de solo necessária para o escoamento de água pluvial, com quase que completa falta de áreas verdes nestas áreas comerciais e residenciais, além de outros comprometimentos ao clima local.

Este dado deve ser estudado com muito cuidado. Com a decorrência da especulação imobiliária, a tendência de crescimento das cidades impõe a utilização máxima de taxas de ocupação e impermeabilização do solo, o que ao ser observado na escala urbana de Juiz de Fora, geraria uma cidade com mais de 90% de seu solo impermeabilizado.

As discussões levantadas pela Mensagem N° 3516 vêm justamente a debater esta lei em específico devido à sua responsabilidade em garantir permeabilidade do solo, diminuição do adensamento urbano, altura máxima das edificações e porosidade das edificações, fatores estes que aliados a estudos abrangentes sobre microclimas urbanos resultantes da configuração atual da cidade, podem vir a orientar melhor os planejadores urbanos no objetivo de criar uma Juiz de Fora sustentável.

Novas soluções para a cidade, capazes de modificar o atual padrão de desenvolvimento urbano, alcançando um padrão de desenvolvimento sustentável, são desejáveis, e devem ser baseadas no respeito à sociedade e às peculiaridades locais. Para isso, será necessário guiar-se por uma estratégia administrativa capaz de encontrar formas concretas, compatíveis com a realidade local, ancoradas por uma postura ética e responsável que busque harmonizar qualidade ambiental, eficácia econômica, diversidade cultural e equidade social, com uma distribuição equilibrada dos espaços (construídos e livres) e pautada na diversidade social econômica e cultural das atividades e dos assentamentos humanos. (ZAMBRANO et al, 2007)

4 METODOLOGIA

Este capítulo trata inicialmente dos critérios de definição da área de estudo e das medições realizadas *in loco* no espaço analisado. Em seguida, são apresentadas as etapas de elaboração das simulações e tratamento das geometrias em estudo.

No item simulações são apresentados os dados de entrada selecionados e seus ajustes para uso em todas as simulações, além disso, são apresentadas as limitações e observações quanto às simulações e uso do software.

As geometrias geradas correspondem sucessivamente ao caso real da área em análise, conforme o levantamento realizado, casos relativos ao máximo construtivo permitido pela legislação em vigor (modelo vertical, horizontal e misto) e casos referentes aos modelos máximos permitidos pela proposta de alteração da lei (modelo vertical, horizontal e misto).

4.1 DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E MEDIÇÕES

Para escolha da área de estudo foram analisadas as Regiões de Planejamento existentes para a cidade, quanto a fatores que demonstrem adensamento das edificações, aumento da impermeabilização do solo, má distribuição e conservação de áreas verdes, substituição de áreas residenciais unifamiliares por multifamiliares ou até por edifícios comerciais. Características estas que, a princípio, acarretariam mudanças no comportamento térmico do espaço urbano e das edificações.

Com a análise das características de crescimento urbano para a cidade e com as futuras possibilidades de expansão da urbe segundo o PDDU e as Leis de uso e ocupação do solo, escolheu-se a RP Centro, demarcada na Figura 23, como área de estudo.

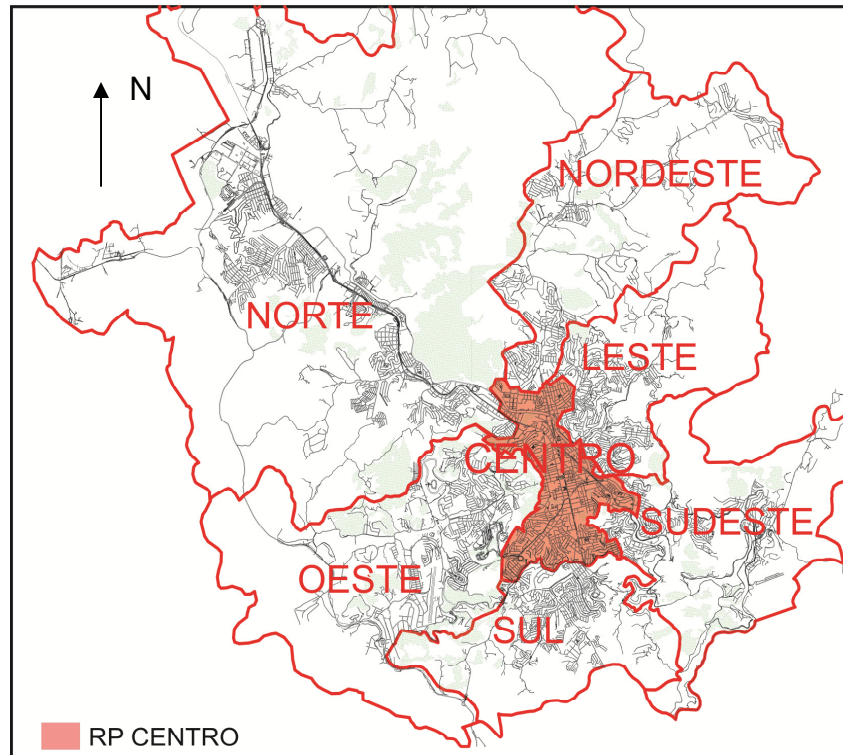


Figura 23 – Mapa das Regiões de Planejamento da cidade de Juiz de Fora/MG. Fonte: Anexo 4 da Lei de Uso e Ocupação do Solo, adaptado. Sem Escala

Segundo o SPGE – Secretaria de Planejamento e Gestão Estratégica (2009), existem cerca de 54.672 construções na região. No núcleo urbano, mais de um quinto do total possui características predominantemente comerciais. Nos bairros do entorno, são residenciais, de médio a alto padrão.

Sua tipologia de ocupação urbana é favorável à verticalização, sendo nítido o predomínio da atividade comercial que polariza a maior parcela da oferta em seu núcleo e nas principais vias. Podem ser destacados nesta região dois ramos principais de atividades econômicas: o comércio, com cerca de 16.941 estabelecimentos e a prestação de serviços, contando com 6.441 unidades. (SPGE, 2009)

Dotada de infra-estrutura urbana de bom padrão, a população desta área é de 100 mil pessoas já começa a sofrer os efeitos do crescimento urbano como deterioração dos espaços públicos e problemas de trânsito.

Dentro da Região de Planejamento Centro podem-se destacar vários bairros que se caracterizam por uma ocupação de padrão socioeconômico médio a alto, com forte pressão imobiliária voltada à verticalização que vem provocando uma renovação urbana.

A escolha da área de estudo deve estar ainda enquadrada em uma Zona residencial (ZR), pois a análise em questão é sobre a alteração do modelo urbano residencial unifamiliar para moldes multifamiliares ou comerciais. Sendo a ZR correspondente às áreas de ocupação de uso tradicionalmente residencial.

Neste contexto, a ZR II é a que trabalha com o maior coeficiente de aproveitamento através dos modelos de ocupação M3 e M3A. Portanto, a área escolhida deve estar encaixada em algum destes modelos de ocupação. (Figuras 24 e 25)

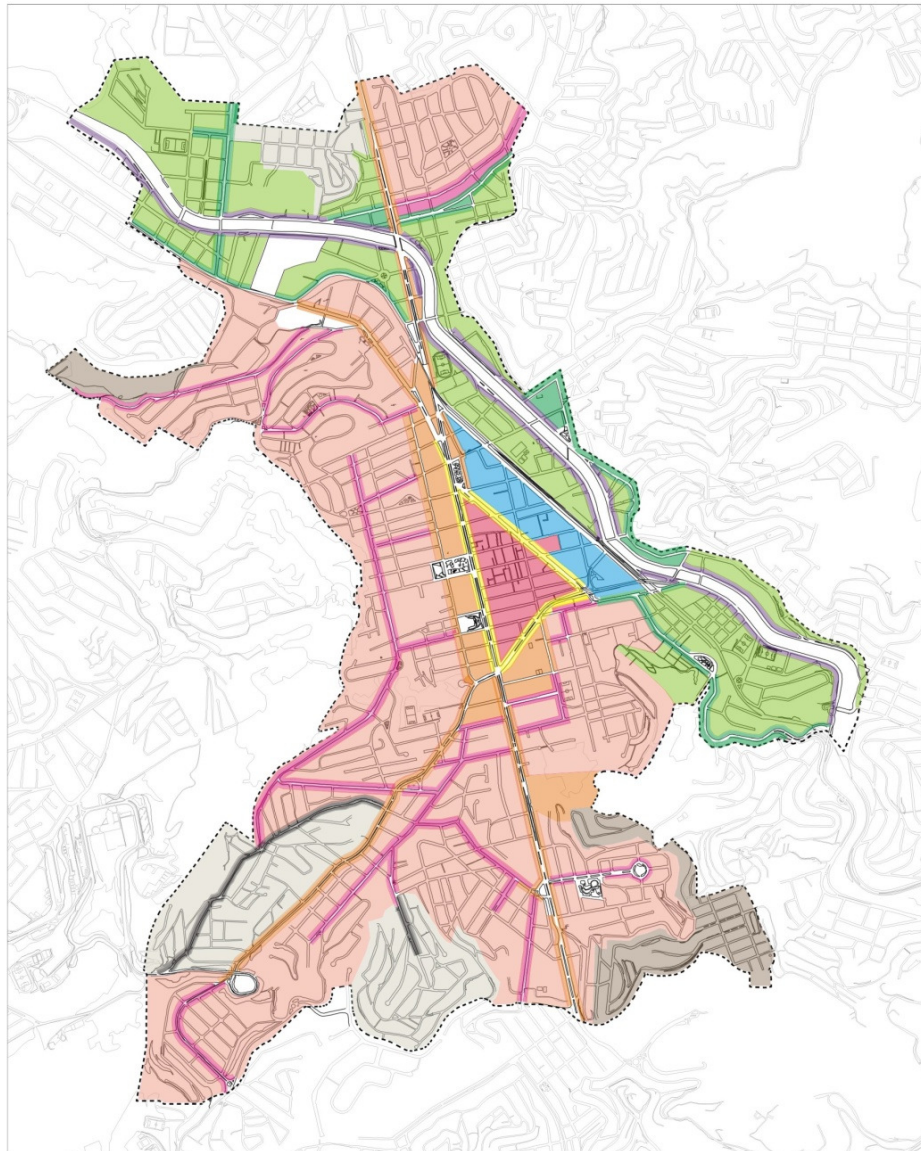
Como pode ser observado na Figura 24, grande parte da cidade se encaixa na ZR II, e nos modelos residenciais M3 e M3a (Figura 25). Sendo assim, o mapa de taxas de ocupação resultantes (Figura 26) também foi analisado como norteador da escolha da área final.

Em resumo, com a orientação destes mapas, a área que se busca para análise deve pertencer a um bairro da região central, que tenha um uso tipicamente residencial unifamiliar, mas que tenda aos remodelamentos urbanos típicos de uma especulação imobiliária. Os bairros da região central cogitados para uma análise mais avançada foram: Alto dos Passos, Bom Pastor e São Pedro.

Para a decisão final do bairro e da área escolhidos foram feitas análises nos locais de possível implantação, através de visitas aos locais pré-selecionados, de modo a selecionar um ambiente final que possuísse quadras e uso preferencial unifamiliar, com poucas edificações que possuam características que as tornem permanentes em um futuro previsível, e que ainda assim, possuam a maior quantidade de lotes nos modelos M3a, para que possamos verificar os reais impactos térmicos da substituição de casas por prédios que ocupem 100% do solo nos primeiros dois pavimentos.

Após esta análise, foi escolhida para estudo uma área que abrange quatro quadras com o total de 42.212m², com 86 lotes aproximadamente (Figura 27). Esta área encontra-se situada no bairro Bom Pastor, próximo à Av. Rio Branco e ao lado do bairro Alto dos Passos. O uso do solo deste espaço, se dá predominantemente por residências unifamiliares, e mesmo nos corredores de comércio permitidos para o bairro, grande parte dos lotes continua sendo ainda residencial.

ZONEAMENTO RP - CENTRO



LEGENDA:













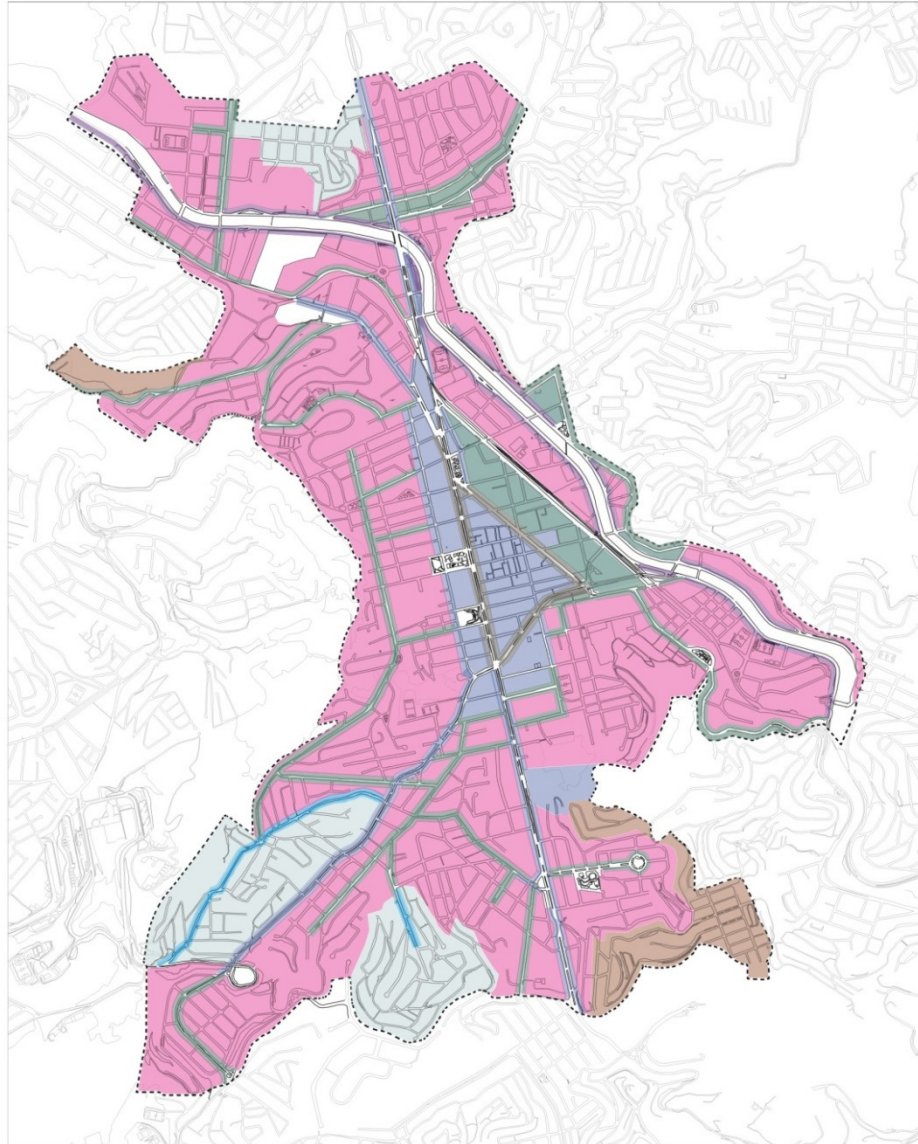
| ZONA RESIDENCIAL | | ZONA COMERCIAL | |
|---|----------------------------------|---|----------------------------------|
|  | ZR I |  | ZC I |
|  | ZR II |  | ZC II |
|  | ZR III |  | ZC III |
|  | ZUM I |  | ZC IV |
|  | CORREDOR COMÉRCIO/SERVIÇO BAIROS |  | ZC V |
|  | |  | CORREDOR COMÉRCIO/SERVIÇO BAIROS |

Figura 24 - Mapa de Zoneamentos da Cidade de Juiz de Fora. Fonte: Anexo 4 da Lei de Uso e Ocupação do Solo, adaptado. Sem Escala.

RP - CENTRO

Modelos de Ocupação por Categoria de Uso Residencial



LEGENDA:



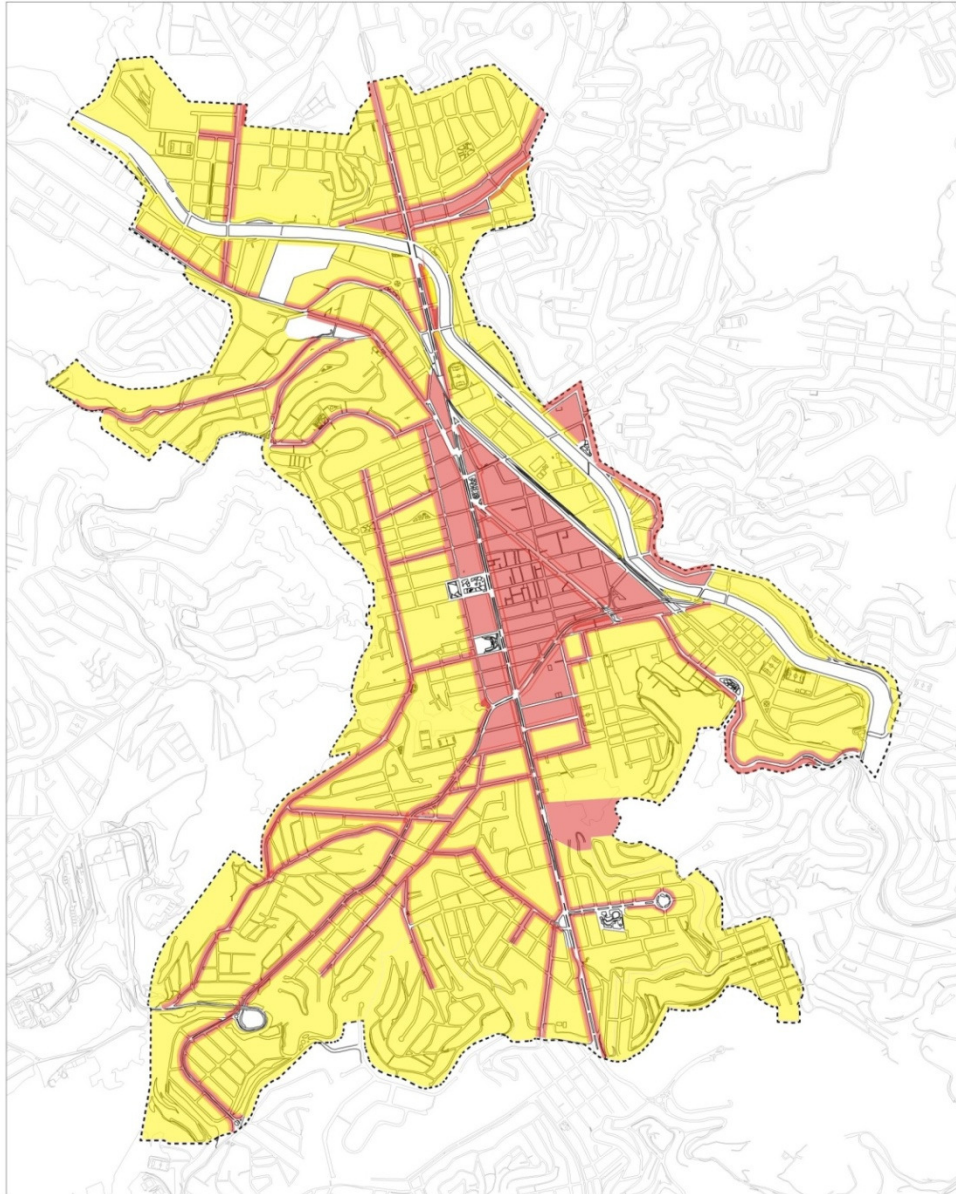
| | | | |
|---|---------|---|---------|
|  | Até M3 |  | M2 |
|  | Até M6a |  | Até M2a |
|  | Até M8a |  | Até M5 |
|  | Até M3a |  | M1 |

Figura 25 - Mapa de Modelos de Ocupação para uso residencial da Cidade de Juiz de Fora.
Fonte: Anexo 4 da Lei de Uso e Ocupação do Solo, adaptado. Sem Escala.

RP - CENTRO

Taxa de Ocupação por Categoria de Uso Residencial



LEGENDA:

- Até 100% do terreno para 1, 2 pav. E também 3 pav. - Para M6a e M8a
- Até 65% do Terreno.

Figura 26 - Mapa de Taxas de Ocupação para uso residencial da Cidade de Juiz de Fora.
Fonte: Anexo 4 da Lei de Uso e Ocupação do Solo, adaptado. Sem Escala.

Na Figura 27, podemos ver a área de estudo mais de perto pela a imagem do software Google Earth, onde o espaço delimitado por um retângulo amarelo corresponde às quadras abordadas.



Figura 27 - Marcação da área de estudo. Fonte: Google Earth. Sem Escala.

Como desejado, a área de estudo se encontra nos modelos de ocupação M3, M3a e M6a (Figura 28)

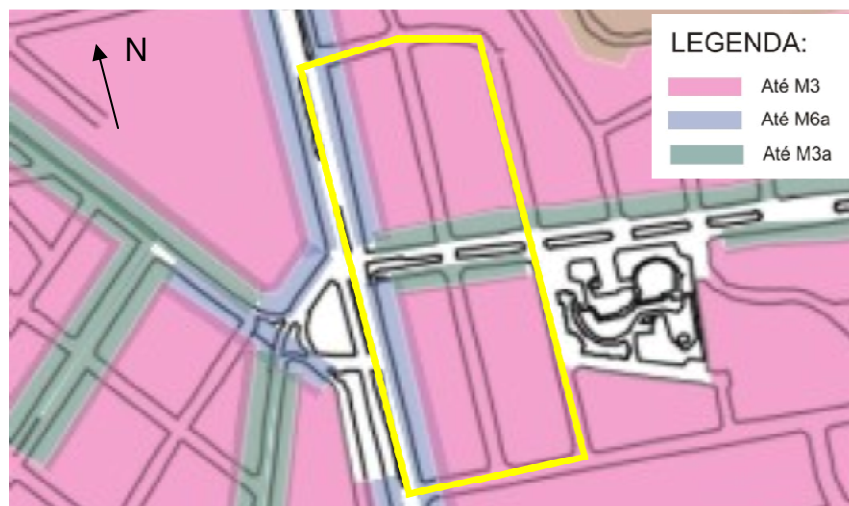


Figura 28 – Modelo de ocupação da Área Escolhida. Fonte: Anexo 4 da Lei de Uso e Ocupação do Solo, adaptado. Sem Escala.

Quanto ao estudo e caracterização topográfica, a área a ser simulada se encontra no vale da cidade, configurada exatamente sobre uma área de corredor de vento de direção predominante Norte. (Figura 29)

Sua altitude está na faixa de 715m, enquanto que os montes vizinhos podem chegar à até 811m de altura. Esta configuração acaba por direcionar os ventos por entre os morros existentes, criando neste caso um corredor de vento que caminha no sentido da Av. Independência para o Bairro Bom Pastor.

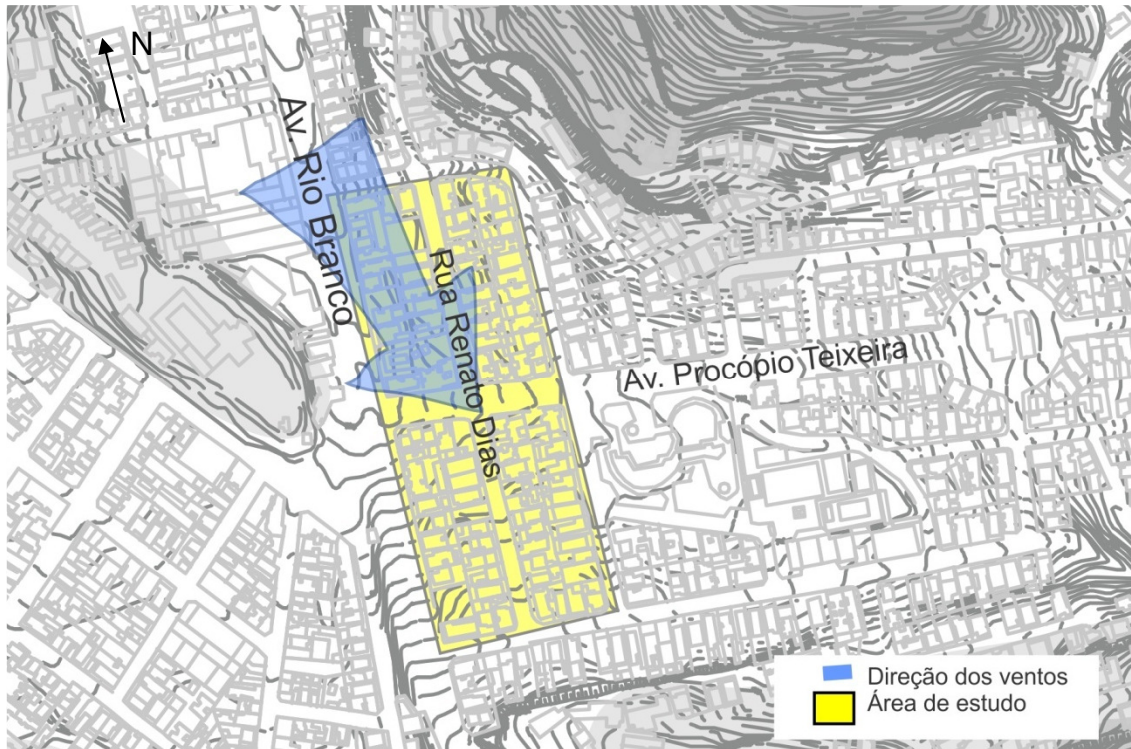


Figura 29 - Mapa Topográfico e ventilação - Área de Estudo. Fonte: SPU (2009). Adaptado. Sem Escala.

Na Figura 30, temos o mapa de levantamento das tipologias de uso adotadas para a área de estudo. Percebe-se que grande parte do uso é do tipo residencial, mesmo para os corredores de comércio permitidos para o bairro.



Figura 30 - Mapa Tipologias de uso. Fonte: SPU (2009). Adaptado. Sem Escala.

Através do levantamento, visto na Figura 31, pôde-se notar a forte tendência do bairro para edifícios unifamiliares. Além disso, grande parte dos pontos de comércio utiliza casas como estabelecimento. Com a especulação imobiliária, este bairro tende a trocar suas residências unifamiliares por multifamiliares, ou edificações de uso misto.

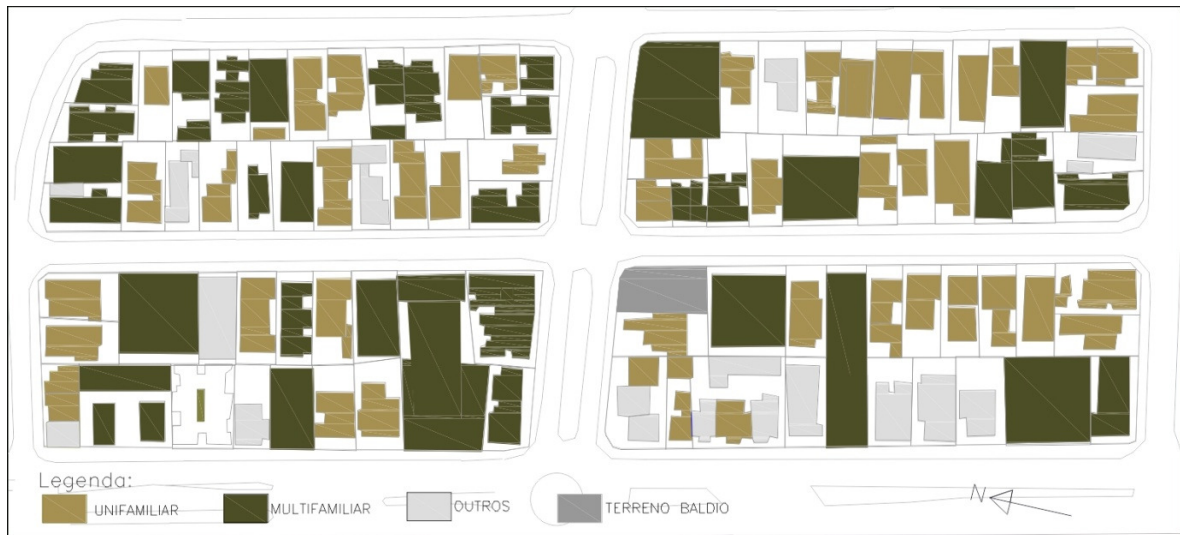


Figura 31 - Mapa Residencial Tipologia. Fonte: SPU (2009). Adaptado. Sem Escala.

Esta constatação dá mais força à pesquisa em estudo, tornando-se uma real necessidade o exame dos impactos resultantes da verticalização para esta zona residencial. Isso pode ser feito verificando como o conforto destes moradores se dá atualmente, como será quando todos os lotes estiverem com edificações no seu máximo de altura permitida e, enfim, como a Proposta de alteração de Lei de Uso do Solo (JUIZ DE FORA, 2007a), proposta pela Câmara Municipal afetará o ambiente e o conforto dos moradores.

Escolhida a área de estudo, passou-se para o ajuste do software em estudo quanto às análises climáticas urbanas para regiões tropicais. Com este objetivo, foi necessária a comparação entre dados reais e dados simulados, sendo preciso realizar a coleta de dados climáticos em campo. Para esta checagem foram coletados os dados de temperatura e umidade relativa para cada hora do dia do período proposto, conforme metodologia descrita a seguir.

Com intuito de análise urbana para o período verão, e com a verificação de que o mês mais quente do ano para Juiz de Fora é o de fevereiro, foram realizadas coletas de temperatura e umidade relativa para o período que compreende 15h do dia 09/02/2011 às 15h do dia 22/02/2011, sendo que os dias coletados apresentaram de maneira geral céu claro e sem nuvens.

De acordo com as intenções deste estudo, foi escolhido apenas um ponto de análise, pois o mesmo já seria capaz de gerar comparações entre dia real e simulado. Devido à necessidade de obtenção de dados para cada hora do dia, foi preciso colocar o equipamento de coleta em local coberto, protegido de intempéries e seguro, sendo assim não foi possível sua colocação nas vias de circulação, tendo sido localizado no interior do lote de uma das edificações, porém em área externa ao prédio.

A escolha do ponto de coleta foi baseada na disponibilidade de acesso a uma edificação, sendo escolhido um edifício residencial multifamiliar de 10 pavimentos. O local de implantação do dispositivo foi na área externa à edificação, porção posterior do lote, como pode ser observado na Figura 32 a seguir.



Figura 32 – Foto da área com marcação da área de estudo e do local do ponto de medição.
Fonte: Google Earth - modificado.

As coletas de dados foram feitas por registros contínuos de temperatura e umidade, através de *data logger* instalado à sombra, evitando-se o efeito de incidência direta da radiação solar, em uma altura aproximada de 4m.

O modelo do *Temperature/Humidity Data Logger* utilizado é EBI 20-TH1 do fabricante EBRO. Sua resolução de temperatura é 0,1 ° C e resolução de umidade de 0,1% UR. (Figura 33)



Figura 33 – Equipamento EBRO, coleta de Temperatura e Umidade. Fonte: http://www.ebro.de/en/products/dataloggers/EBI_20_TH.php

As coletas se repetiram com o intervalo de 10 minutos, que gerou o Gráfico 1, para umidade e temperatura. Os resultados das coletas de dados foram importados para um arquivo do Excel.

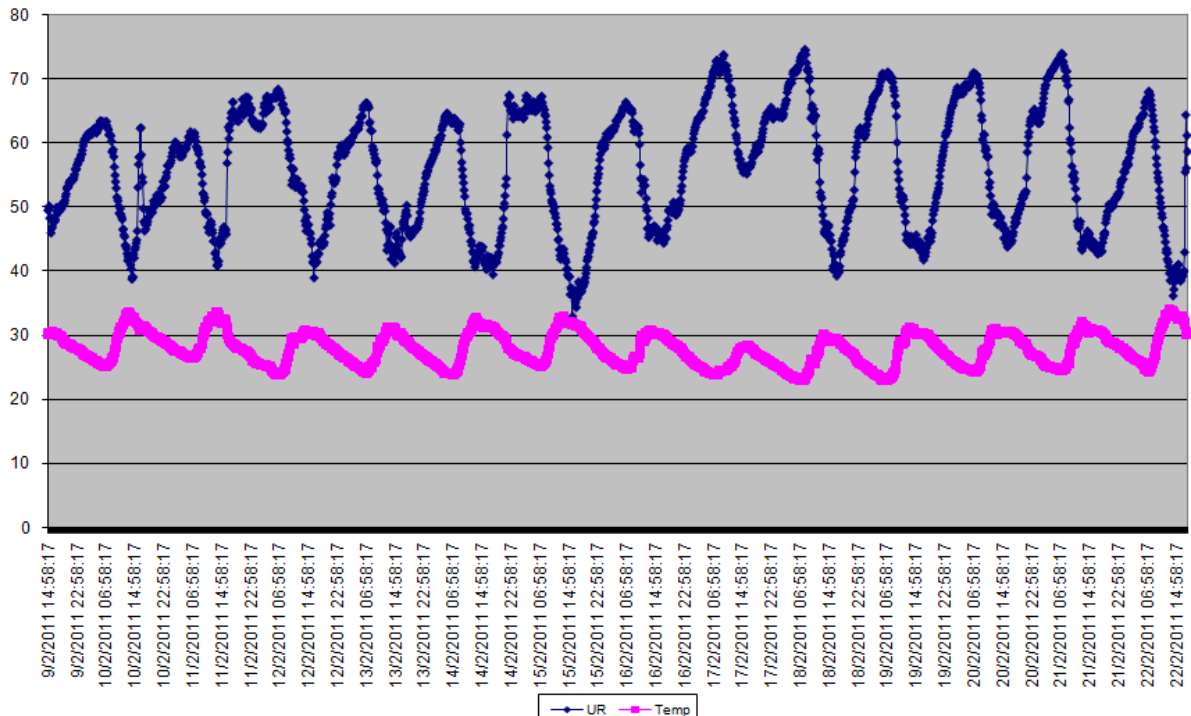


Gráfico 1 – Dados coletados na área de estudo. Fonte: Autor.

Os dados coletados *in loco* foram analisados, no item a seguir, segundo os parâmetros seguidos por Shinzato (2009) e que foram apresentados no tópico 2.3.5 - Estudos de Confiabilidade, no capítulo de revisão da literatura. Conforme este trabalho, a partir dos dados coletados para a área de estudo fez-se uma simulação para confrontação dos resultados de temperatura finais coletados e simulados.

Com a comparação entre os gráficos encontrados buscou-se um ajuste dos dados de entrada do software, para que os valores dos finais de temperatura se aproximassem dos valores medidos *in loco*.

4.2 SIMULAÇÕES

O estudo elaborado neste trabalho baseia-se em simulações urbanas em mesoescala, com verificação de parâmetros resultantes de temperatura e umidade do ar e ventilação urbana.

Segundo Galmarini, Vinuesa e Martilli (2008):

...a mesoscale model relies on the resolution of a prognostic equation for the sub-grid concentration variance, i.e. the quantity that accounts for the distribution of concentration within a grid-cell of a mesoscale model, by using a 1.5 order closure. The parameterization is implemented in a 3D transport model and tested against large eddy simulations of convective atmospheric boundary layers.(...)

Ou seja, modelos em mesoescala estão relacionados com resolução de uma área urbana dividida em volumes, que representam isoladamente a distribuição e concentração dos parâmetros testados.

Para iniciar o processo das simulações, a primeira etapa realizada foi o levantamento das variáveis físicas do local. Após, foram elaborados os mapas correspondentes à área real levantada e os mapas referentes aos casos máximos (horizontal, vertical e misto) para a legislação vigente e legislação proposta pelo Executivo. Por fim, para cada situação descrita foi feito seu modelo volumétrico tridimensional, com intuito de facilitar a visualização dos conjuntos construídos.

O mapa da área de estudo, acessado em formato digital, foi obtido na Prefeitura de Juiz de Fora e foi sobreposto às imagens aéreas do local, fornecidas pelo aplicativo *Google Earth*. Vale salientar que este processo foi manual e não possui exatidão cadastral, devido à baixa resolução das imagens de satélite. Porém, este procedimento foi necessário tendo em vista que o mapa disponibilizado pela Secretaria de Planejamento da Prefeitura da cidade não se encontrava atualizado.

Após a revisão e modificação das áreas edificadas, foram acrescentadas todas as demais informações pertinentes levantadas in loco, como localização das árvores e a anotação dos materiais de revestimento do solo. A escolha da vegetação incluída na área simulada teve como critério o uso de árvores que mais se assemelhassem em altura e ou permeabilidade da copa das espécies locais, pois a base de dados da vegetação disponível no programa não abrange as variedades tropicais, mas considera as espécies mais comuns na Europa, como já citado por Krüger, Minella e Rasia (2011).

Após as atualizações, foi gerada uma imagem de bitmap que foi usada como pano de fundo da confecção das edificações no ENVI-met.

Com a finalização da área de estudo, partiu-se para a definição do tamanho das grades virtuais utilizadas pelo programa na área a ser simulada. Para isso, baseou-se nas dimensões do local, 400m x 180m e na maior altura edificada, de 72m. A opção de grade considerada de 3m x 3m, 180 x 180 x 30 do programa, perfazendo 540 x 540 x 90m, que é capaz de conter a área de estudo.

As figuras 34 e 35 representam a área real modelada no software ENVI-met, mostrando as edificações e vegetação, assim como a classificação dos revestimentos do solo. (asfalto, pavimento cimentado, gramíneas)

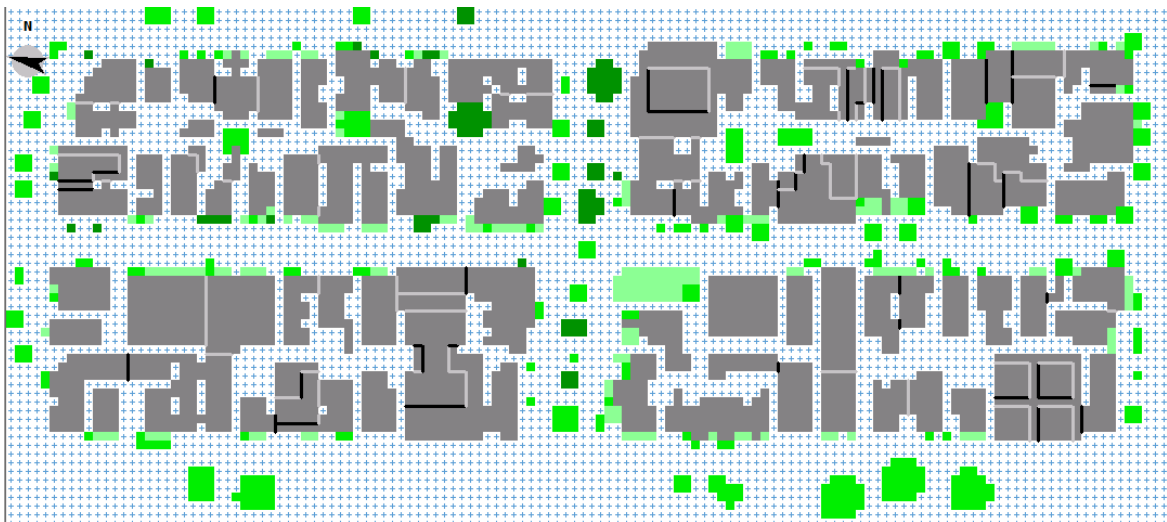


Figura 34 – Configuração final da área simulada moldada no ENVI-met, sem considerar nesting-grids – Edificações e Vegetações. Fonte: Autor

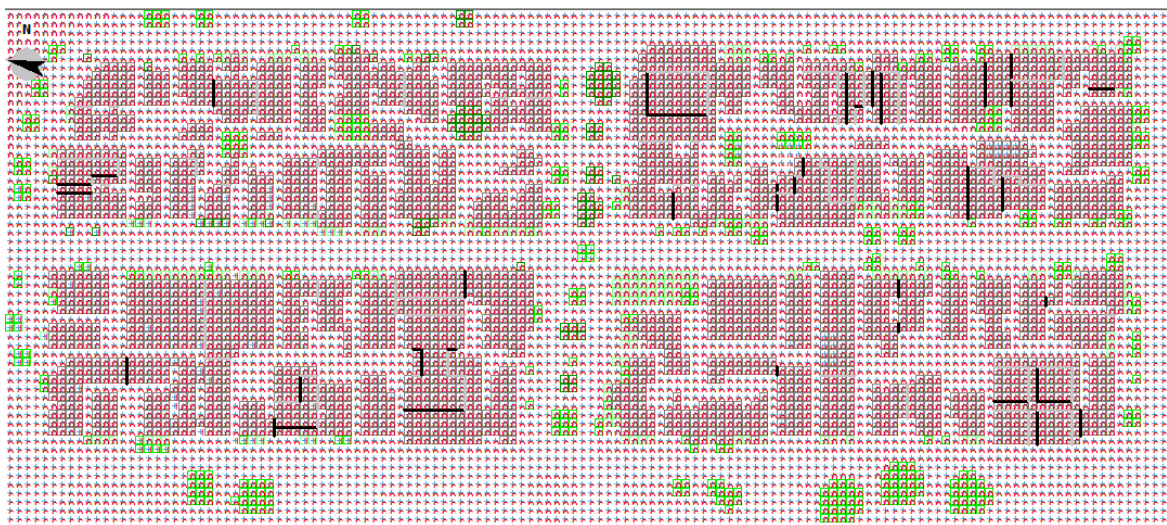


Figura 35 – Configuração final da área simulada moldada no ENVI-met, sem considerar nesting-grids – Revestimento do Solo. Fonte: Autor.

Como o intuito deste trabalho é a verificação dos impactos dos volumes edificadas no conforto térmico, era de grande importância que os dados climáticos

de entrada fossem os mesmos para todas as simulações. Além disso, convém que sejam representativos de um dia típico de verão para a cidade.

Neste sentido, buscou-se averiguar se dados reais quando inseridos como dados de entrada, gerariam resultados finais de temperatura próximos ao esperado. Para obtenção de dados de entradas reais, foram realizadas coletas de dados de temperatura do ar e umidade relativa na área de estudo, conforme explicitado anteriormente.

Considerou-se o período de 09/02/2011 à 22/02/2011 como amostra de coleta de dados. Deste intervalo, foi escolhido apenas um dia como sendo representativo para o dia ideal de simulação, de todo o conjunto de dados apresentado anteriormente no Gráfico 1, buscando preferencialmente um dia com alta temperatura e baixa umidade relativa diurna. Optou-se pelos horários de 6h do dia 15/02 à 6h do dia 16/02 (Gráfico 2).

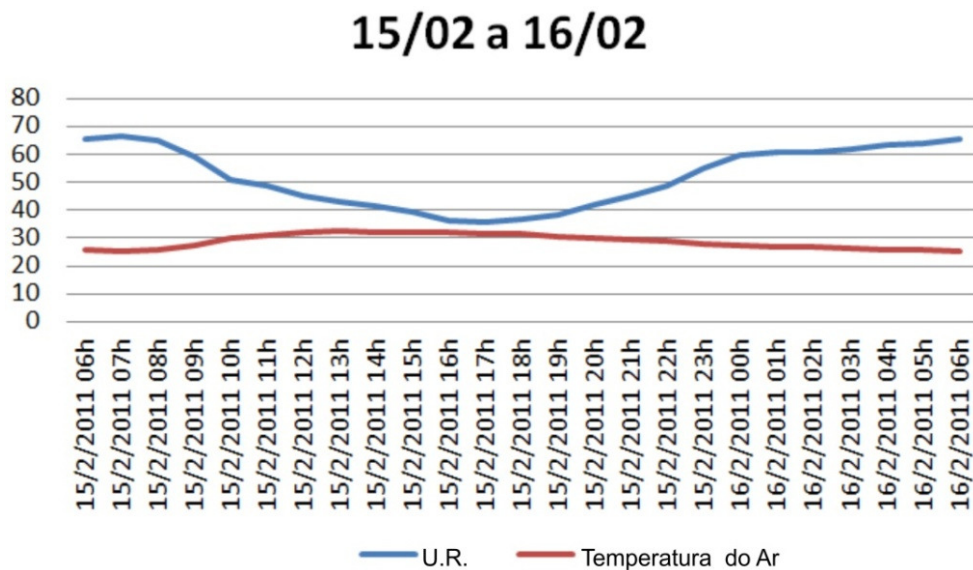


Gráfico 2 – Curva de temperatura e de Umidade relativa para o dia coletado. Fonte: Autor.

Escolhido o dia e horário de simulação, partiu-se para a definição dos valores de temperatura inicial de entrada, umidade específica e relativa, velocidade e direção dos ventos e o coeficiente de rugosidade do terreno exigidos pelo programa. Estes valores são gerados como arquivo de extensão .CF, referente aos dados de entrada, pelo programa ENVI-met.

O processo de definição das variáveis de entrada do simulador, como dados de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e umidade específica ($\text{g}_{\text{água}}/\text{Kg}_{\text{ar}}$) a 2500 m, foram definidos pelo levantamento de radiossondagens extraídos do site da Universidade de Wyoming (USA, 2011) - *College of Engineering - Department of Atmospheric Science*, para a

estação do Galeão, Rio de Janeiro/RJ (estação mais próxima da cidade de Juiz de Fora). Os dados digitalizados escolhidos foram para os horários de 00h e 12h do dia 15/02/2011 e 00h do dia 16/02/2011. Para a escolha dos dados foram selecionadas as coletas referentes aos valores de alturas mais aproximados de 2500m (Figura 36), chegando-se aos valores médios de 13,23°C e 6 g/kg de umidade específica.

| 83746 SBGL Galeao Observations 15 Feb 2011 | | | |
|---|--------------|-------------|----------|
| | TEMP °C | MIXR g/kg | Altura m |
| 00h 15/02 | 14,8 | 2,54 | 2547 |
| 12h 15/02 | 12,7 | 3,84 | 2524 |
| 00h 16/02 | 12,2 | 11,6 | 2404 |
| Média | 13,23 | 5,99 | |

Figura 36 - Dados de temperatura, umidade específica e altura de coletada. Fonte: Universidade de Wyoming, adaptado.

Quanto à definição dos valores de ventilação e direção dos ventos, foi considerada a média mensal de fevereiro dos anos referentes a 2005 a 2009, conforme citado no item 3.2 deste trabalho. Convém ressaltar que os dados do Laboratório de Climatologia e Análise Ambiental do Departamento de Geociências – LabCAA, foram obtidos da Estação Meteorológica que está a 950m de altitude, e a área de estudo está a 720m de altitude. Além da diferença de altitude, existe também uma distância de 2km em linha reta para um ângulo de 110° entre área de análise e ponto de locação da estação (Figura 37).

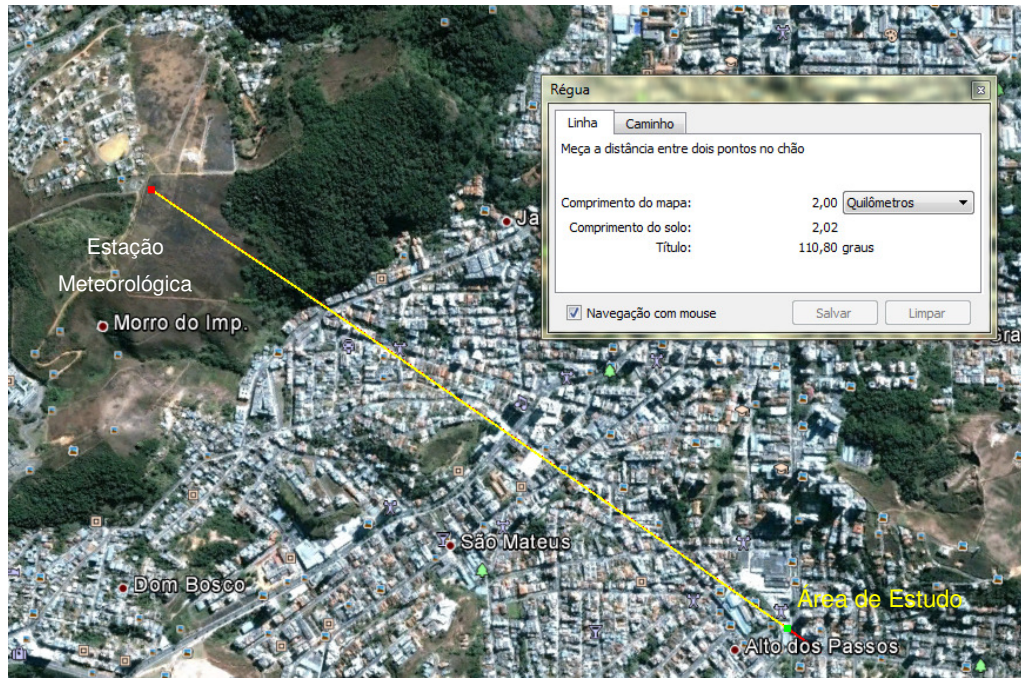


Figura 37 – Distância da estação Meteorológica à Área de estudo em linha reta. Fonte: Google Earth.

Mesmo com as diferenças entre valores de altitude e distância, seria possível realizar uma transposição de dados de ventilação, considerando-se a influência da topografia, desde que a área de estudo e a estação meteorológica estivessem alinhadas à ventilação predominante. A diferença de distância entre os dois pontos, somado à topografia do terreno, que cria a canalização da ventilação no eixo norte-sul da cidade, impossibilita uma transmissão de dados de modo real sem que seja feita uma modelagem do local para uma análise mais apurada.

Considerando-se a impossibilidade do estudo específico de ventilação para a análise proposta neste trabalho, foi adotada uma hipótese simplificada onde a velocidade e direção dos ventos correspondem aos dados coletados para a situação de implantação da estação meteorológica.

O valor de coeficiente de rugosidade escolhido para a área foi 1 (um), obtido por meio de média aritmética simples para a área de Juiz de Fora, através de sobreposição do mapa da cidade sobre o mapa de modelo de rugosidade do Brasil (AMARANTE et al, 2001). O valor de umidade relativa (%) a 2 metros foi retirado dos dados coletados para o dia 15/02/2011 para o horário coincidente de início da simulação, 06h.

Todos estes dados selecionados foram escolhidos como dados de entrada iniciais para o simulador (Tabela 4), e usados ainda, para a verificação de compatibilidade de dados gerados pelo simulador e coletados *in loco*.

Tabela 4 – Dados de entrada para simulação ENVI-met. Fonte: Autor.

| | |
|--|------------------------------------|
| Início da simulação | 06:00h AM do dia 15/02/2011 |
| Total das horas simuladas | 24h |
| Latitude, longitude e GMT | -21 °77, -43 °36, -3 |
| Temperatura inicial a 2500m | 286,23 K (13,23 °C) |
| Umidade específica a 2500m | 6 g água/kg ar |
| Velocidade dos ventos a 10m | 3 m/s |
| Direção dos ventos a 10m | NE = 45° |
| Umidade relativa a 2m | 65,5% |
| Coefficiente de rugosidade do terreno | 1 |

4.2.1 Ajuste dos dados de entrada

Tendo modelada a área simulada e definidos os dados climáticos necessários à simulação, partiu-se para a averiguação da compatibilidade das curvas de temperatura finais resultantes para o dia coletado e simulado.

Este estudo teve como objetivo ajustar os dados iniciais da simulação, de modo a gerar curvas de temperatura do ar aproximadas e que garantissem a confiabilidade das simulações finais, da mesma forma que os exemplos de ajustes citados anteriormente (SHINZATO, 2009).

Com a área modelada e com os dados de entrada, citados na Tabela 4, inicializou-se o programa. Buscando resultados mais fiéis à realidade tratada, colocou-se na área modelada no ENVI-met um sensor de dados de temperatura virtual (receptor), no mesmo ponto onde foi posicionado o aparelho Data Logger. Este sensor garantiu que pudessem ser comparados os dados para exatamente o mesmo local e altura de medição.

Os resultados de comparação entre simulação e dados reais podem ser observados no Gráfico 3, onde percebe-se que apesar da diferença de temperatura entre as duas análises ser em média de 13,8°C, as duas curvas possuem aspectos muito semelhantes.

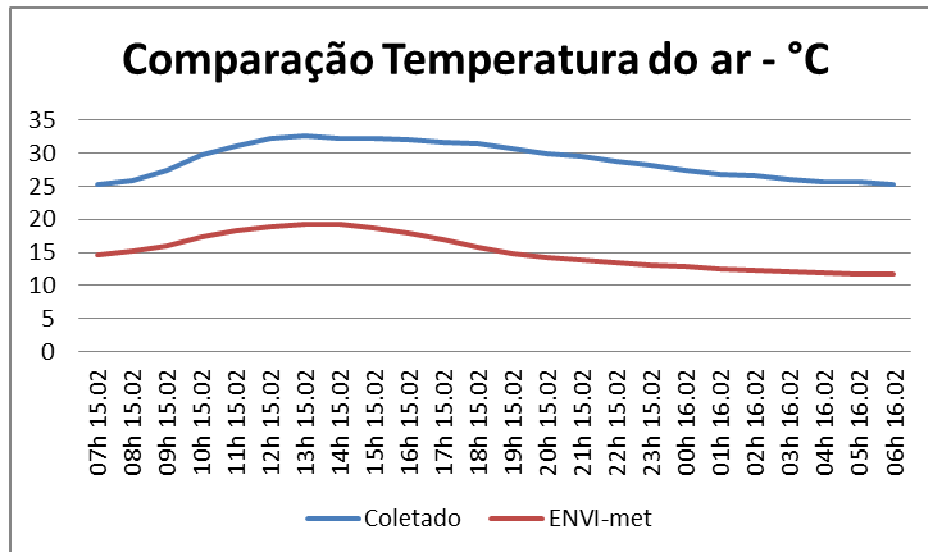


Gráfico 3 – Comparação entre temperaturas do ar para área simulada e real. Fonte: Autor.

Buscando verificar a correlação entre os valores dos dois casos, foi feita uma análise de dispersão simples, demonstrada no Gráfico 4. O gráfico faz comparação entre os dados de temperatura do ar coletado (eixo y) e simulado (eixo x).

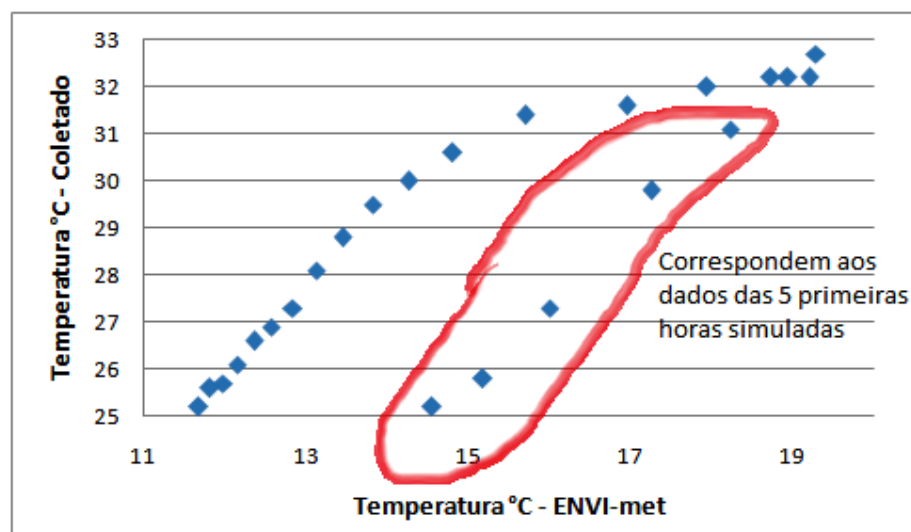


Gráfico 4 – Análise de Dispersão simples para Simulação e dados coletados. Fonte: Autor.

Este gráfico demonstra que os dados equivalentes as cinco primeiras horas simuladas destoam da evolução esperada para a comparação entre dados coletados e simulados. Contudo, conforme descrito no manual (BRUSE, 2010) é esperado que as seis primeiras horas calculadas possam apresentar erros de compilação, pois podem sofrer influência da inicialização do software.

Neste contexto, optou-se por excluir os cinco pontos iniciais, considerando apenas os dados simulados após o tempo de inicialização pedido pelo programa, o que gerou o Gráfico 5. A intenção foi de verificar o coeficiente de correlação entre as análises, buscando ajustar os valores de entrada o mais próximo possível dos

valores reais coletados, como modo de buscar simulações mais realísticas neste estudo.

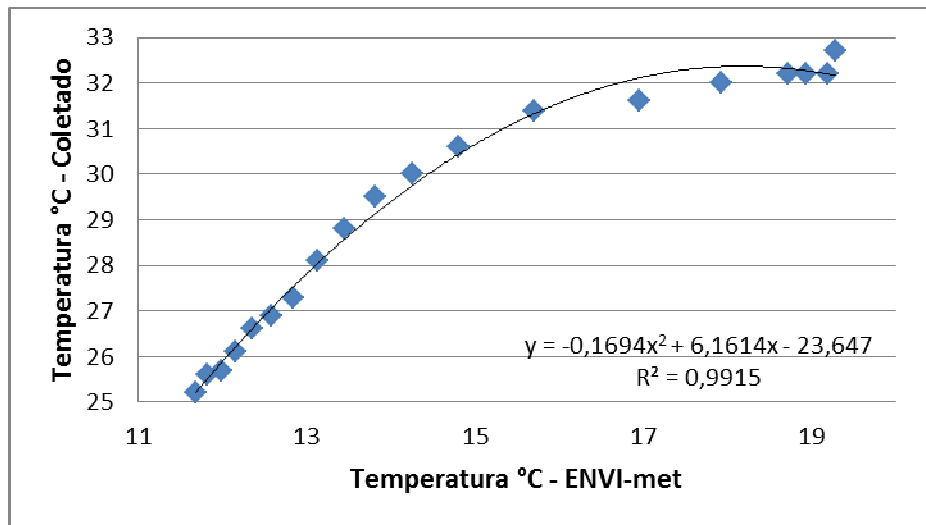


Gráfico 5 – Análise de Regressão Quadrática com ajuste polinomial. Fonte: Autor.

O gráfico 5 demonstra que o coeficiente de determinação encontrado foi de $R^2 = 99,1\%$, $P > 0,0001$ para o modelo quadrático. O coeficiente de correlação⁵ foi de $r = 0,9954$ que demonstra forte correlação entre as variáveis.

Contudo, apesar da forte correlação encontrada, como já foi dito, existe uma diferença média de temperatura de $13,8^\circ\text{C}$. Este fato levou a necessidade de realização de ajustes nos valores climáticos de entrada da simulação.

Após esta verificação, realizou-se outra simulação onde se procurou diminuir o valor de entrada de umidade específica a 2.500m, partindo-se do princípio que o valor inicial simulado de 6 g/kg corresponde a uma cidade de grande proximidade marítima (RJ), e este valor de umidade poderia ser superior ao valor correspondente à cidade de Juiz de Fora.

Logo, a simulação seguinte de ajuste manteve todos os dados iniciais de entrada, exceto o valor de umidade específica a 2.500m, que passou de 6 g/kg para 4g/kg. O critério escolhido foi de utilizar um valor menor do que a média alcançada, pegando o valor de 3,84 colhido para as 12h do dia 15/02, e o arredondando para 4g/kg.

⁵ Através do valor de $r > 0,7$ pode-se afirmar que existe forte correlação entre as duas variáveis.

Além disso, o valor de entrada de temperatura inicial, que correspondia ao valor médio calculado, de 13,23°C é substituído pelo valor de 28°C (301K) que corresponde ao valor médio de temperatura do ar que é relativo ao período de tempo onde se coletou *in loco* os dados climáticos, através de equipamentos de medição, já anteriormente descritos.

Mesmo compreendendo que estas modificações podem afetar os valores absolutos calculados para temperatura, as alterações foram mantidas. Isto devido à impossibilidade de obter as equações explicativas para o perfil de temperaturas na atmosfera pelo ENVI-met, optando-se por modificar a temperatura a 2500m, mesmo que isto possa implicar numa possível estratificação de temperaturas não convencionais na camada de ar considerada. Como o objetivo do trabalho é de comparar várias configurações para uma mesma condição climática, optou-se por ajustar os dados de entrada de modo a aproximar os dados medidos.

Após o período de simulação para os valores alterados fez-se nova comparação entre os dados coletados no local e os valores resultantes da nova simulação. Esta relação pode ser vista no Gráfico 6.

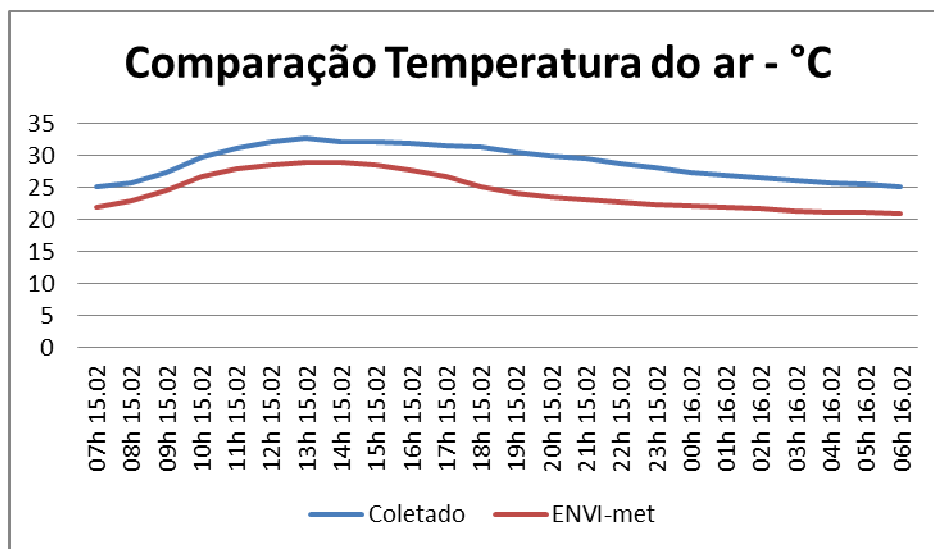


Gráfico 6 – Comparação entre temperaturas do ar para área simulada ajustada e real. Fonte: Autor.

Percebe-se no gráfico anterior que a diferença de temperatura entre as duas análises passou a ser em média de 4,5°C, possuindo as duas curvas comportamentos similares. O gráfico de dispersão simples equivalente é o Gráfico 7, já se considerando a exclusão dos cinco primeiros valores iniciais da simulação.

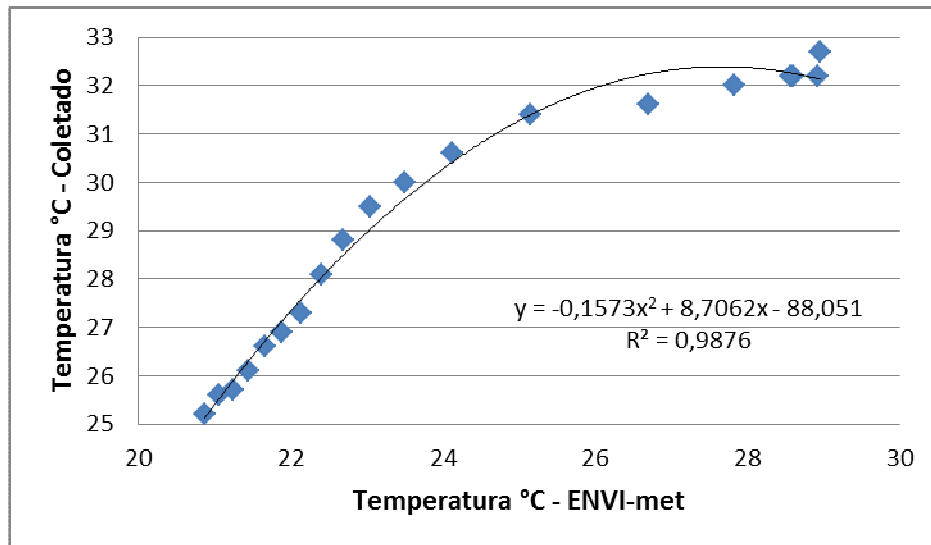


Gráfico 7 – Análise de Regressão Quadrática com ajuste polinomial. Fonte: Autor.

Desta vez, o coeficiente de determinação encontrado foi de $R^2 = 98,7\%$, $P > 0,0001$ para o modelo quadrático. O coeficiente de correlação foi de $r = 0,9934$ que demonstra forte correlação entre as variáveis.

Assim, com o ajuste, chegou-se a uma diferença média de temperatura mais próxima à real, mantendo-se ainda a forte correlação dos resultados de simulação com os de coleta. Outra observação importante é que mesmo com a diferença de $4,5^\circ\text{C}$ entre dados reais e simulados, a fórmula de ajuste polinomial apresentada no gráfico, permite alcançar o valor de temperatura real estimada (Y) através da temperatura simulada (X), o que significa a possibilidade de estimar as temperaturas resultantes para as simulações onde se alterou o espaço urbano (estudo da influência da legislação), admitindo assim, uma previsão do desconforto ou conforto térmico para os espaços alterados pela legislação.

Outros dados utilizados para todas as simulações referem-se aos elementos de entrada que geram os mapas de PMV e PPD. Para estes casos, é preciso acrescentar informações relacionadas ao tipo de vestimenta, tipo de atividade e metabolismo do usuário padrão.

Seguindo a característica comparativa do trabalho, propôs-se manter os valores *default* do programa ENVI-met que correspondem respectivamente:

- Velocidade do pedestre: 0,3 m/s
- Troca energética (atividade e metabolismo): 116W (Figura 8 – 2 met - atividade média em pé)
- Resistência de transferência de calor das roupas: 0,5 clo (Figura 7 - vestuário leve de verão)

Com isso, os dados considerados como de entrada para a inicialização das demais simulações realizadas foram os da Tabela 5.

Tabela 5 – Dados de entrada a serem considerados para simulação em ENVI-met. Fonte: Autor.

| | |
|---|------------------------------------|
| Início da simulação | 06:00h AM do dia 15/02/2011 |
| Total das horas simuladas | 24h |
| Latitude, longitude e GMT | -21°77, -43°36, -3 |
| Temperatura inicial a 2500m | 301 K (28 °C) |
| Umidade específica a 2500m | 4 g água/kg ar |
| Velocidade dos ventos a 10m | 3 m/s |
| Direção dos ventos a 10m | NE = 45° |
| Umidade relativa a 2m | 65,5% |
| Velocidade pedestre | 0,3m/s |
| Troca energética (atividade e metabolismo) | 116 W |
| Resistência de transferência de calor das roupas | 0,5 clo |
| Coefficiente de rugosidade do terreno | 1 |

4.2.2 Limitações e observações quanto ao software

É importante deixar claro que neste trabalho não se tem a intenção de validar o software para uso em condições tropicais. Sendo assim, o levantamento bibliográfico foi de extrema importância para, inicialmente, entender o funcionamento e limitações do programa, e então, de acordo com estudos de confiabilidade existentes, se poder realizar neste estudo a mesma metodologia de avaliação e aplicação do modelo para o caso da cidade de Juiz de Fora.

No entanto, estas análises foram realizadas a fim de estimar a confiabilidade dos resultados ENVI-met para este estudo de caso em específico e, avaliar as influências térmicas decorrentes de alterações formais dos edifícios, guiados por parâmetros das legislações em análise. Portanto, a metodologia seguida espelhou-se na análise comparativa de temperaturas do ar simuladas e coletadas, como descrito por Carfan, Galvani e Nery (2008), seguidas de ajustes conforme realizado por Shinzato (2009).

Contudo, para o estudo comparativo realizado, foram feitas apenas conferências do item temperatura do ar, devido ao fato da impossibilidade de coleta outros dados, como velocidade e direção dos ventos para a área simulada, sendo assim o ajuste proposto teve como parâmetro norteador apenas o item temperatura.

4.3 TRATAMENTO DA GEOMETRIA E CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS

O objetivo final do uso das simulações foi verificar quais modelos urbanos em análise trazem resultados mais aceitáveis em relação ao conforto urbano, como meio de averiguar quais parâmetros legislativos se adéquam melhor ao espaço urbano em estudo.

A área levantada para este estudo possui um volume edificado (volume total construído para todas as edificações existentes no espaço em análise) de aproximadamente 311mil m³ e se encontra em uma área com forte tendência à densificação futura.

Os estudos apresentados buscaram o máximo de densificação permitida tanto para a legislação vigente quanto para a proposta de alteração da lei atual (JUIZ DE FORA, 2007a). Para alcançar a densidade máxima foram propostas três possibilidades de configurações: horizontalizada, verticalizada e mista.

Para um estudo de crescimento urbano mais próximo do esperado, optou-se por manter intactas as edificações com mais de três pavimentos, de uso multifamiliar e de uso comercial. Nas simulações, parâmetros como vegetação, tipo de solo e revestimento foram padronizados de acordo com o levantamento feito no local e mantidos os mesmos para todas as simulações.

Além disso, procurou-se manter volumes similares para as configurações analisadas para cada legislação, visando, desta maneira, que o volume final construído fosse próximo para cada modelo. Deve-se lembrar, entretanto que a legislação proposta pelo legislativo é mais permissiva e, portanto, permite maior taxa de ocupação e coeficiente de aproveitamento, o que resultaria em um volume final maior do que o alcançado pela legislação vigente.

O volume final construído para os máximos da Lei vigente foi por volta de 400mil m³, enquanto o volume construído para os máximos da Proposta de alteração de Lei foi de 445mil m³. Sendo assim, o máximo permitido pela Lei vigente densificou a área atual em mais 89mil m³, o que corresponde a 29% de aumento, e a Lei alterada acrescentou em seu volume mais 134m³, correspondente a 43% de aumento no volume construído.

Outro critério importante adotado para as simulações foram as análises e comparações dos mapas resultantes de cada simulação, para o período específico de verão, para o horário de 15h. Este horário representa a maior temperatura e

menor umidade do dia no qual foi realizada a coletada de dados (15/02/2011). Assim, o mesmo horário e data que foram usados para realizar as simulações.

Foram selecionadas as seguintes configurações a serem simuladas e apresentadas a seguir:

- Simulação da Configuração Real da Área de estudo;
- Simulação da ocupação máxima permitida pela Lei vigente: Modelos Vertical, Horizontal e Misto;
- Simulação da ocupação máxima permitida pela Proposta de Alteração da Lei: Modelos Vertical, Horizontal e Misto;

4.3.1 Simulação da Configuração Real da Área de Estudo

O primeiro caso simulado se baseia na configuração real da área de estudo, que corresponde à Figura 388.



Figura 38 – Imagem aérea da área de estudo. Fonte: Google Earth_ Base de dados de 2006.

Os mapas de tipologia de uso do solo (Figura 30) e tipologia de uso residencial (Figura 31) podem ser vistos no item Tipologias do capítulo de metodologia.

Segundo o levantamento *in loco* realizado no espaço em estudo, foi feito o mapa de gabaritos (Figura 399) que representa o número de pavimentos totais para cada edificação existente.

Este mapa foi importante para avaliar o perfil da área que é de 31,5% de edificações com até 2 pavimentos, constituindo os prédios com até 4 pavimentos o percentual total de 85% do local, como pode ser visto no Gráfico 8.



Figura 39 – Mapa de gabaritos da área atual. Fonte: SPU (2009). Adaptado. Sem Escala.

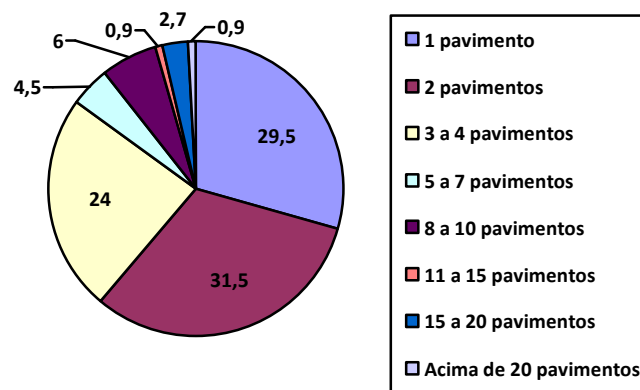


Gráfico 8- Percentuais de quantidade de pavimentos construídos para o modelo da área atual. Fonte: Autor.

Estes dados são importantes para ressaltar a escolha deste local de estudo, que se configura como um espaço residencial com em média 85% dos edifícios possuindo até 4 pavimentos. Isto significa que, com a especulação imobiliária grande parte desta área pode se modificar, alterando-se a configuração final do espaço urbano, e também sua característica microclimática.

Para gerar as simulações de temperatura, umidade e ventilação natural, a configuração atual da área real foi moldada no software ENVI-met, utilizando-se os dados de entrada descritos fim no tópico “Ajuste dos dados de entrada” e cujos resultados serão apresentados no capítulo de resultados e propostas.

4.3.2 Simulação do Máximo Permitido para Lei Vigente

Para iniciar as simulações referentes ao máximo de aproveitamento do solo, foi preciso, inicialmente, definir quais dos lotes teriam suas construções consideradas demolíveis e quais seriam consideradas permanentes, considerando-se o crescimento previsto para esta área urbana.

Baseado no critério de gabarito das edificações e sua relação com seu uso foram considerados demolíveis as residências unifamiliares e residências utilizadas para fins comerciais que possuíssem até três pavimentos. Edifícios que possuíssem número de pavimentos superior a três foram mantidos. Na Figura 4040 foram demarcados quais são essas edificações.



**Figura 40 – Mapa dos lotes escolhidos para sofrerem alteração construtiva. Sem escala.
Fonte: SPU, adaptado.**

A Figura 411 apresenta quais são os tipos de uso do solo adotados nos lotes a serem demolidos. Neste caso, foram mantidos os tipos de uso do solo utilizados atualmente na área de estudo. A Figura 422 apresenta os modelos de uso e ocupação do solo representativos para cada caso, segundo a legislação vigente.



Figura 41 – Mapa dos lotes a serem alterados e sua classificação quanto ao uso do solo. Sem escala. Fonte: SPU, adaptado.

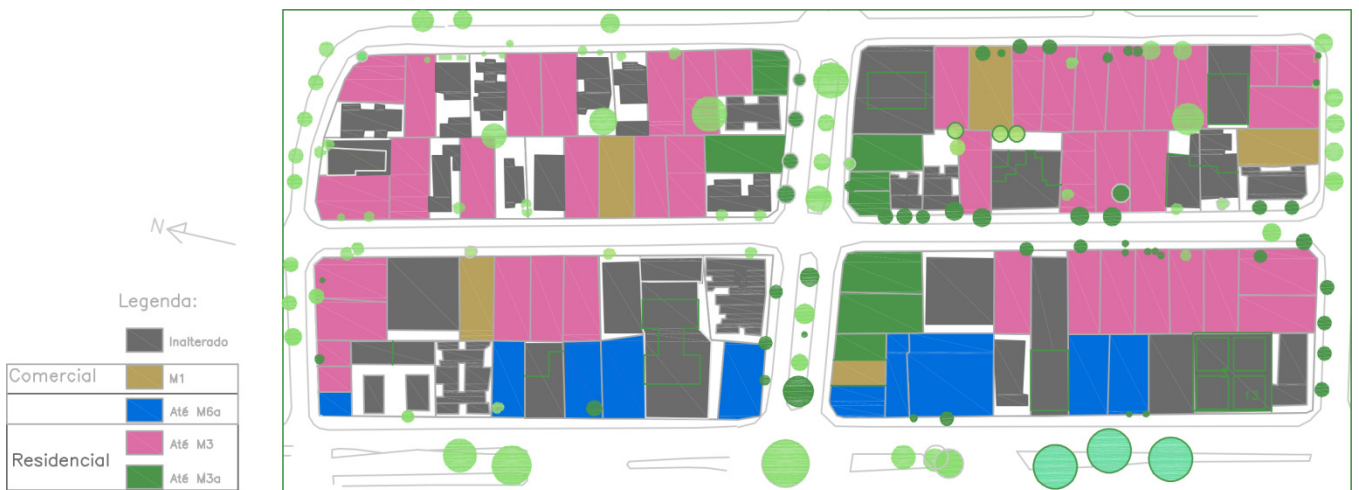


Figura 42 – Mapa dos lotes a serem alterados e sua classificação quanto ao modelo de ocupação do solo. Sem escala. Fonte: SPU, adaptado.

Conforme os padrões e critérios adotados, foram sugeridas três configurações que usassem o máximo aproveitamento do solo: máximo aproveitamento vertical, máximo aproveitamento horizontal e máximo aproveitamento para o caso misto entre os dois anteriores.

O passo seguinte foi o cálculo das áreas máximas permitidas para as configurações horizontais e verticais. Para isso utilizou-se os dados da Tabela 6, que apresenta os parâmetros construtivos para a legislação vigente, com os seguintes índices para os modelos em estudo:

Tabela 6 – Modelos de Ocupação. Fonte: Legislação Urbana de Juiz de Fora.

| MODELO | TAXA DE OCUPAÇÃO MÁXIMA | COEF. DE APROV. MÁXIMO | AFAST. FRONTAL MÍNIMO (m) | AFAST. LATERAL E DE FUNDOS MÍNIMOS (m) |
|--------|---|------------------------|--------------------------------|--|
| M1 | 0.65 | 1.0 | Lote > 200m ² = 3 | Lote ≥ 1000m ² = 1.5 |
| M3 | 0.60 | 1.8 | 3 | Lote > 300m ² = 1.5 e uma das divisas = 0 |
| M3a | 1º e 2º pav = 100% (até 8,90m de altura) Demais = 0.60 | 2.2 | 2º pav. = 0 Demais = 2 | 1º e 2º pav = 0 Em uma das divisas = 0 Demais pav. = 1.5 |
| M6a | 1º, 2º e 3º pav. = 100% (até 11.40m de altura) Demais = 0.50 | 4.5 | 2º e 3º Pav. = 0 Demais = 2 | 1º, 2º, 3º = 0 Demais = 2 |

4.3.2.1 Modelo Vertical – Legislação Atual

Para a verificação de gabarito máximo permitido para a área de estudo, deve-se considerar a soma do dobro da largura da caixa de rua das vias que compõe o espaço examinado à dimensão de afastamento frontal. As vias existentes na área de estudo são vistas na Figura 433.



Figura 43 – Vias de Acesso – Área de Estudo. Fonte: Adaptado pelo Autor.

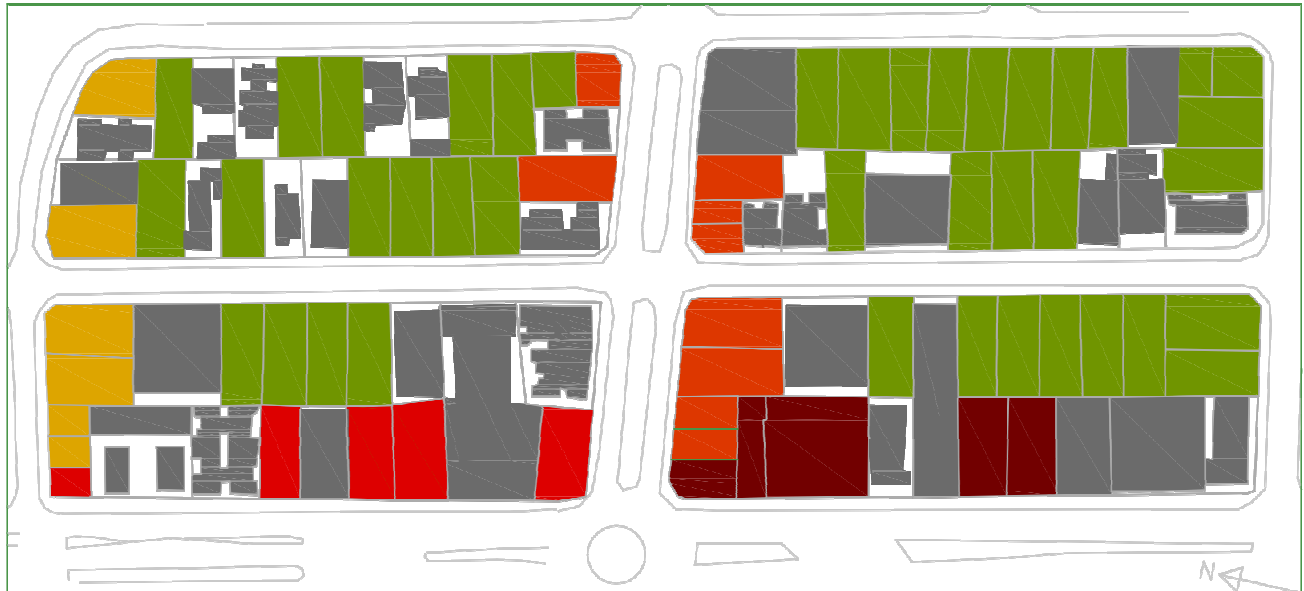
Cada modelação a ser simulada tomou, para cada via em estudo, uma altura máxima, segundo a fórmula:

$$H = 2R + r$$

Onde:

- H - altura máxima da edificação;
- R – caixa de rua;
- r – recuo utilizado (afastamento frontal).

Através dos dados de afastamento frontal mínimos, vistos na legislação, utilizou-se a fórmula de gabarito máximo das edificações para cada lote. Estes valores geraram um mapa de altura máxima das edificações, de acordo com cada via, que foi utilizado como limite para a nova configuração das edificações (Figura 44).



Legenda:

| | | |
|----------------------|----------------------|----------------------|
| Inalterado | limite 11 pavimentos | limite 24 pavimentos |
| limite 10 pavimentos | limite 17 pavimentos | limite 36 pavimentos |

Figura 44 – Mapa de gabaritos criado segundo os parâmetros da legislação atual para o máximo de ocupação vertical. Sem escala. Fonte: SPU, adaptado.

Outros critérios adotados foram o de se considerar como mínimo de área construída por pavimento o valor de 60m², e o de desconsiderar o padrão base-torre nos lotes característicos a este fim. Isto devido à necessidade de alcançar a verticalidade máxima.

O resultado construído, conforme todos os parâmetros descritos, pode ser visto na Figura 455, que corresponde ao máximo permitido pelo modelo vertical para a área.

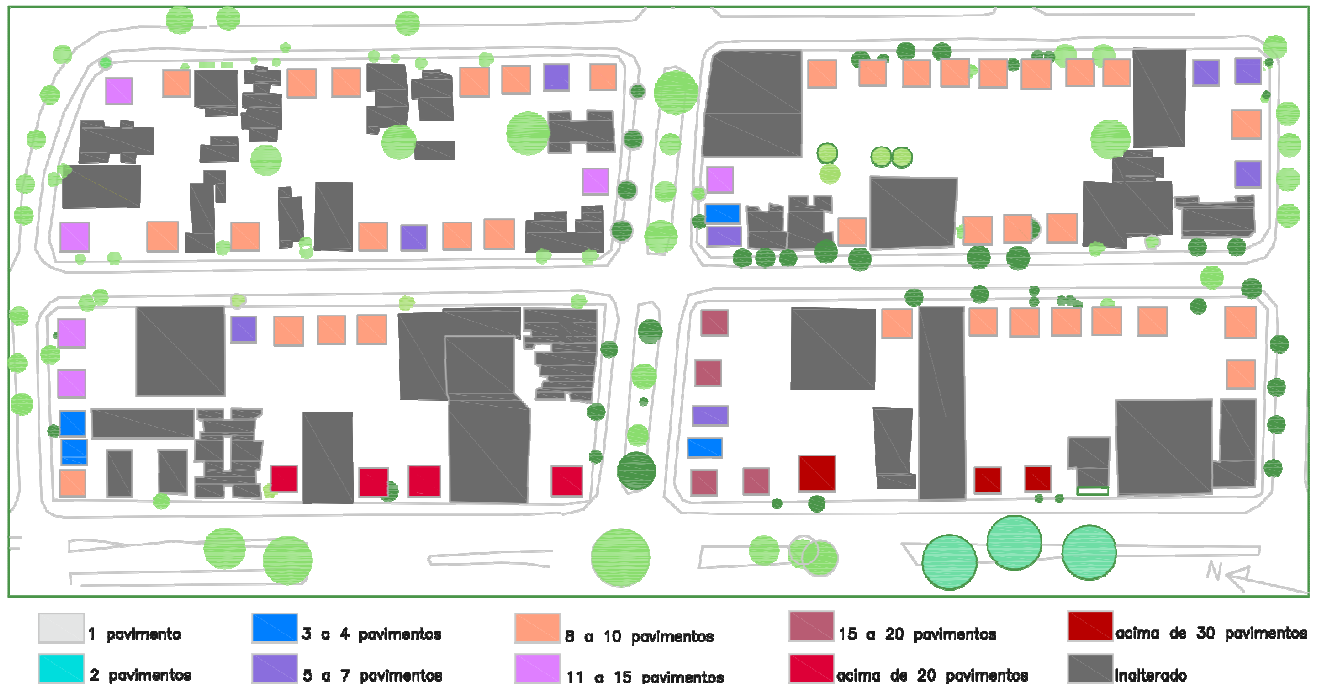


Figura 45 – Mapa de gabaritos criado segundo os parâmetros da legislação atual para o máximo de ocupação vertical. Sem escala. Fonte: SPU, adaptado.

4.3.2.2 Modelo Horizontal – Legislação Atual

Para o cálculo do máximo permitido para a ocupação horizontal utilizou-se os coeficientes de aproveitamento do solo e taxa de ocupação máximos permitidos para cada lote, conforme seu modelo de ocupação (Figura 422) e parâmetros da lei vigente (Tabela 6).

Este cálculo gera a dimensão máxima do pavimento do térreo, o que permite o cálculo dos demais pavimentos possíveis segundo o máximo do coeficiente de aproveitamento.

Foi mantido para este caso o padrão de base-torre para os lotes que possuíam esta característica, visto que se pretende analisar justamente a forma horizontalizada máxima.

A configuração final pode ser vista na Figura 466.



Figura 46 – Mapa de gabaritos criado segundo os parâmetros da legislação atual para o máximo de ocupação horizontal. Sem escala. Fonte: SPU, adaptado.

4.3.2.3 Modelo Misto – Legislação Atual

Para o caso misto foram separados, aleatoriamente, os lotes a serem verticalizados e horizontalizados na proporção 50% para cada um. A Figura 477 representa a definição dos lotes para cada modelo do estudo de caso misto.



Figura 47 – Mapa dos lotes escolhidos aleatoriamente para representarem os modelos verticais e horizontais no uso misto. Sem escala. Fonte: SPU, adaptado.

Com a definição dos lotes alterados por cada estruturação formal, foi preciso apenas utilizar os dados já computados de cada lote segundo a sua configuração. Gerando assim a configuração mista da Figura 488.

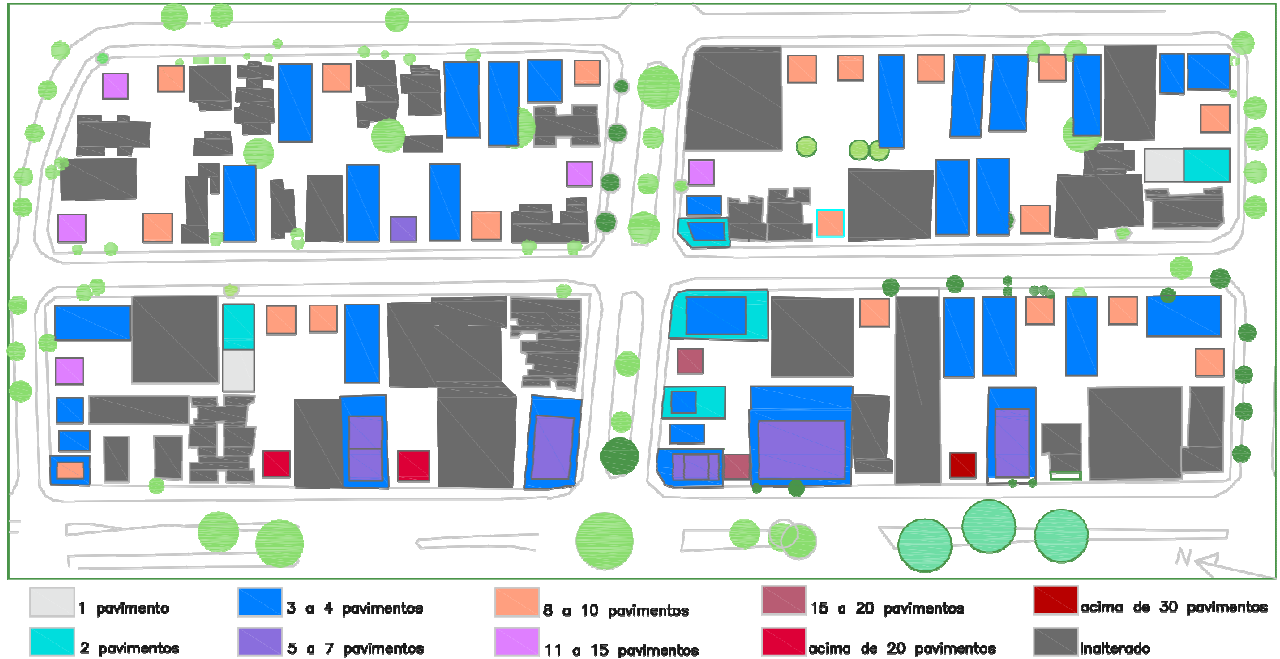


Figura 48 – Mapa de gabaritos criado segundo os parâmetros da legislação atual para o máximo de ocupação Mista. Sem escala. Fonte: SPU, adaptado.

4.3.3 Simulação do Máximo Permitido para Proposta de Alteração da Lei

Estas simulações tratam do modelo urbano gerado segundo o aproveitamento máximo do solo permitido pelos índices propostos pelo pedido de alteração da Lei de uso e ocupação do solo da cidade de Juiz de Fora.

Para iniciar as simulações foram usados os mesmos métodos utilizados no estudo apresentado anteriormente. Através dos tipos de uso e modelos de ocupação do solo apresentados nas figuras 41 e 42, que tratam dos estudos tipológicos futuros, desenvolveram-se, segundo os novos índices construtivos, os mapas temáticos que nos demonstram as características da área.

Para iniciar estes estudos foram utilizados os valores descritos na Mensagem ao Executivo, Tabela 7, para os modelos em estudo presentes na área analisada

Tabela 7 – Modelos de Ocupação. Fonte: Mensagem N°3615.

| MODELO | TAXA DE OCUPAÇÃO MÁXIMA | COEF. DE APROV. MÁXIMO | AFAST. FRONTAL MÍNIMO (m) | AFAST. LATERAL E DE FUNDOS MÍNIMOS (m) |
|--------|---|------------------------|-------------------------------|---|
| M1 | 0.65 | 1.0 | Lote > 200m ² = 3 | Lote ≥ 1000m ² = 1.5 |
| M3 | 0.65 | 2.6 | 3 | Lote > 300m ² = 1.5 e em uma das divisas = 0 |
| M3a | 1º e 2º pav = 100% (até 8,90m de altura) Demais = 0.65 | 2.8 | 2º pav. = 0 Demais = 2 | 1º e 2º pav=0 Em uma das divisas = 0 Demais pav. = 1.5 |
| M6a | 1º, 2º e 3º pav. = 100% (até 11,40m de altura) Demais = 0.50 | 4.5 | 2º e 3º Pav. = 0 Demais= 2 | 1º, 2º, 3º = 0 Demais=2 |

4.3.3.1 Modelo Vertical - Proposta de Alteração da Lei

Através dos dados de afastamento frontal mínimos, vistos na legislação alterada, e do dimensionamento das caixas de ruas, fez-se uso da fórmula de gabarito máximo das edificações para cada lote, que foi apresentada nas simulações anteriores.

Foram mantidos ainda, os critérios adotados anteriormente, sobre o mínimo de área construída, e de padrão base-torre nos lotes característicos a este fim. A Figura 499 corresponde ao máximo permitido pelo modelo vertical para a área, segundo a proposta de alteração de lei.

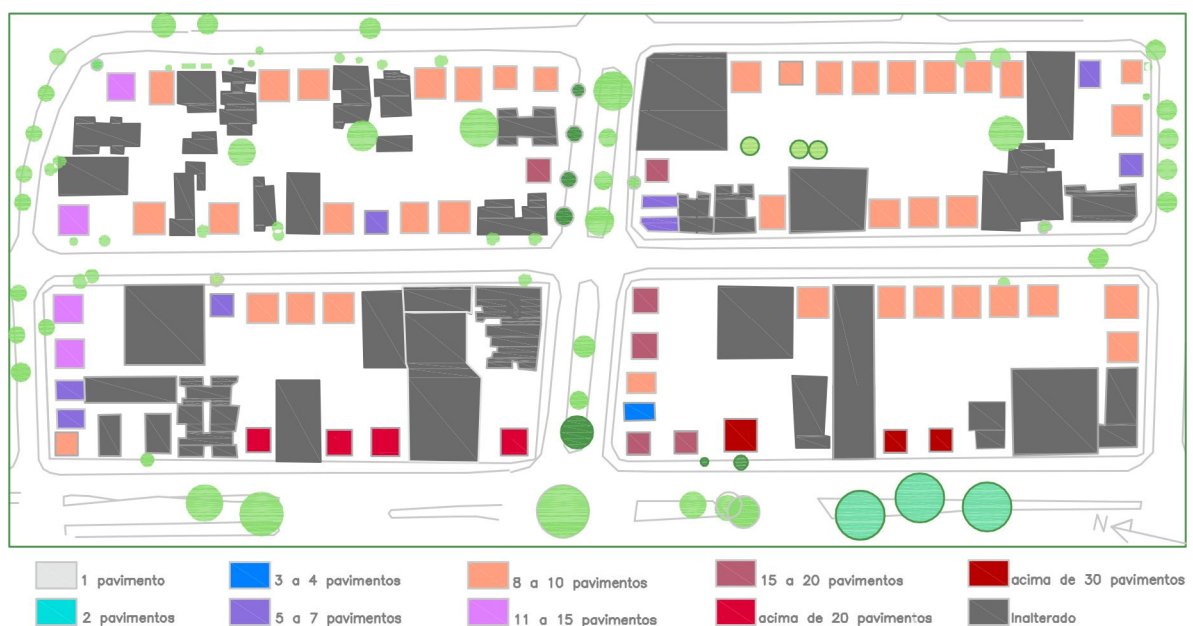


Figura 49 – Mapa de gabaritos criado segundo os parâmetros da legislação alterada, para o máximo de ocupação vertical. Sem escala. Fonte: SPU, adaptado.

4.3.3.2 Modelo Horizontal - Proposta de Alteração da Lei

Na ocupação horizontal máxima os coeficientes de aproveitamento do solo e taxa de ocupação máxima permitidos para cada lote foram usados para o cálculo da área construída e edificada, para cada modelo de ocupação (Figura 422) e parâmetros da proposta de alteração da lei (Tabela 57).

Continuou a ser mantido, segundo a conformação máxima simulada anteriormente, o padrão de base-torre para os lotes que possuíam esta característica, visto que se pretende analisar justamente a forma horizontalizada máxima alcançada (Figura 5050).



Figura 50 – Mapa de gabaritos criado segundo os parâmetros da legislação alterada, para o máximo de ocupação horizontal. Sem escala. Fonte: SPU, adaptado.

4.3.3.3 Modelo Misto - Proposta de Alteração da Lei

Os lotes a serem verticalizados ou horizontalizados continuaram a ser os mesmos da Figura 466. Buscou-se manter os mesmos lotes que a simulação mista do modelo de legislação anterior, com intenção comparativa entre os resultados.

O método de formação da área mista foi mantido, feito a partir da junção dos respectivos lotes verticalizados ou horizontalizados calculados anteriormente para a proposta de alteração de lei (Figura 511).

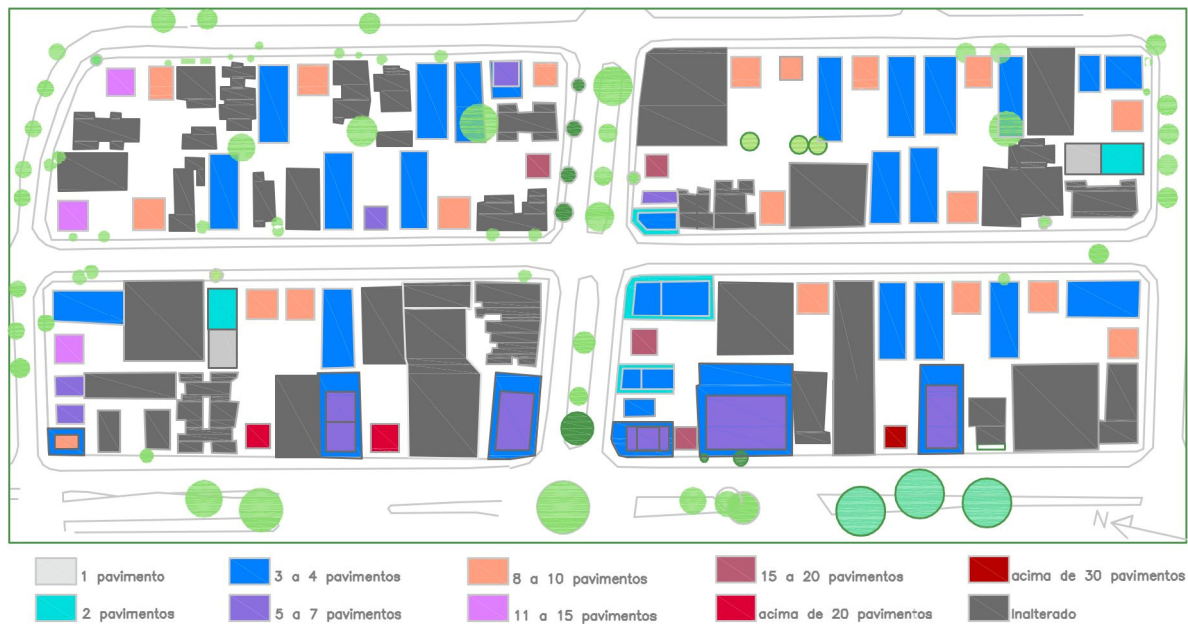


Figura 51 – Mapa de gabaritos criado segundo os parâmetros da legislação alterada, para o máximo de ocupação Mista. Sem escala. Fonte: SPU, adaptado.

4.3.4 Volumetrias Tridimensionais finais

Visando comparações, foram colocadas em ordem de apresentação as volumetrias resultantes das simulações realizadas, tanto em vista aérea quanto frontal de cada conjunto. As imagens foram geradas pelo software SketchUp⁶ e serviram para visualizar tridimensionalmente as áreas modeladas pelas simulações. A Figura 522 corresponde à configuração atual da região de estudo, conforme o levantamento feito *in loco*.

⁶ SKETCHUP, Google SketchUp 8. Disponível eletronicamente em: <http://sketchup.google.com/intl/pt-BR/download/gsu.html> Acesso: Jan 2011.

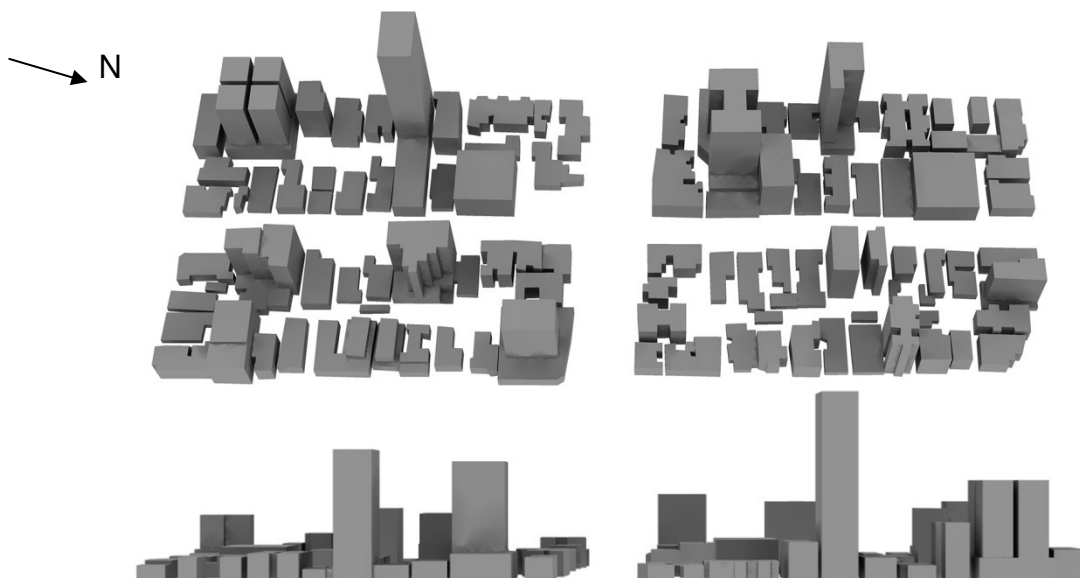


Figura 52 – Vista geral e vista frontal (pela av. Rio Branco) do conjunto REAL da área de estudo. Volume edificado final: 310.641 m³ Fonte: Autor.

As figuras 53, 54 e 55 correspondem à configuração máxima permitida pela lei vigente, para os modelos vertical, horizontal e misto, respectivamente.

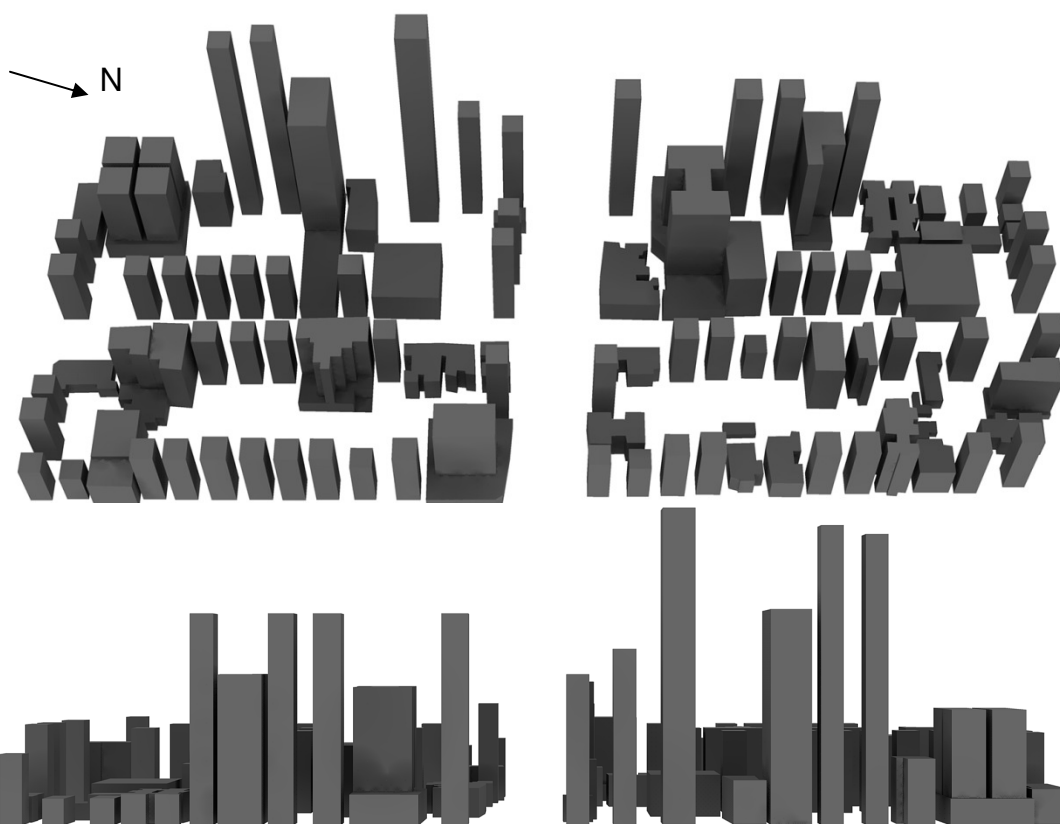


Figura 53 – Volumetria geral e frontal (pela av. Rio Branco) resultante para a simulação VERTICAL – Lei atual. Volume edificado final: 400.446 m³. Fonte: Autor.

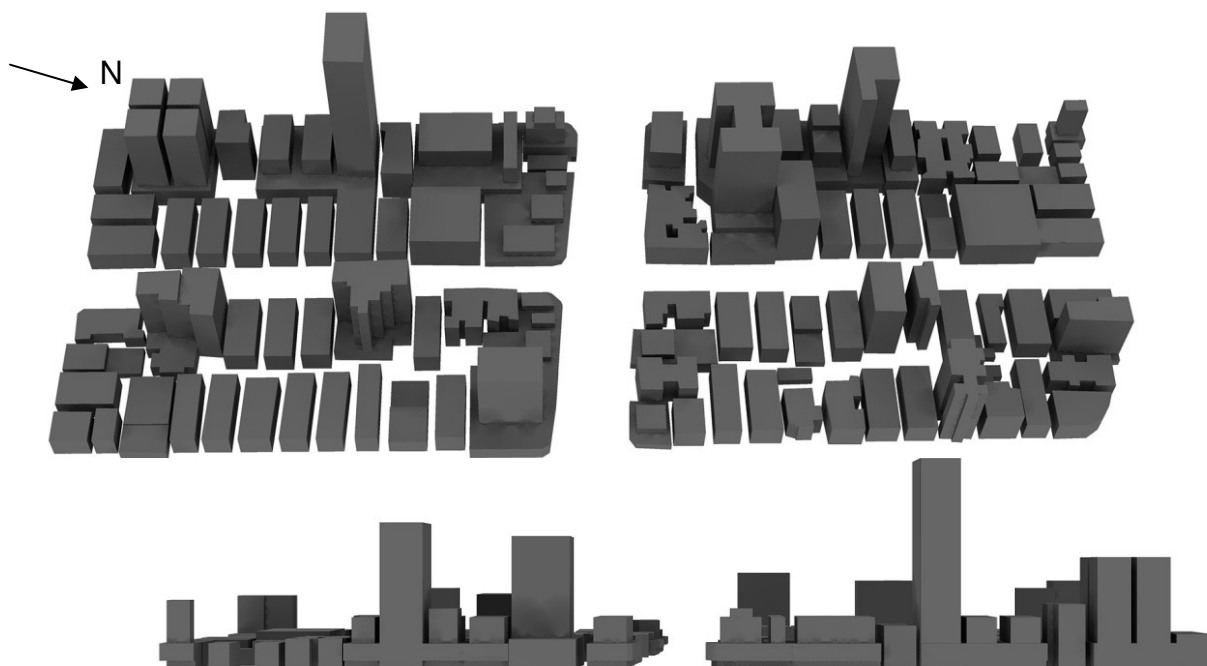


Figura 54 – Volumetria geral e frontal (pela av. Rio Branco) resultante para a simulação HORIZONTAL – Lei atual. Volume edificado final: 392.800 m³. Fonte: Autor.

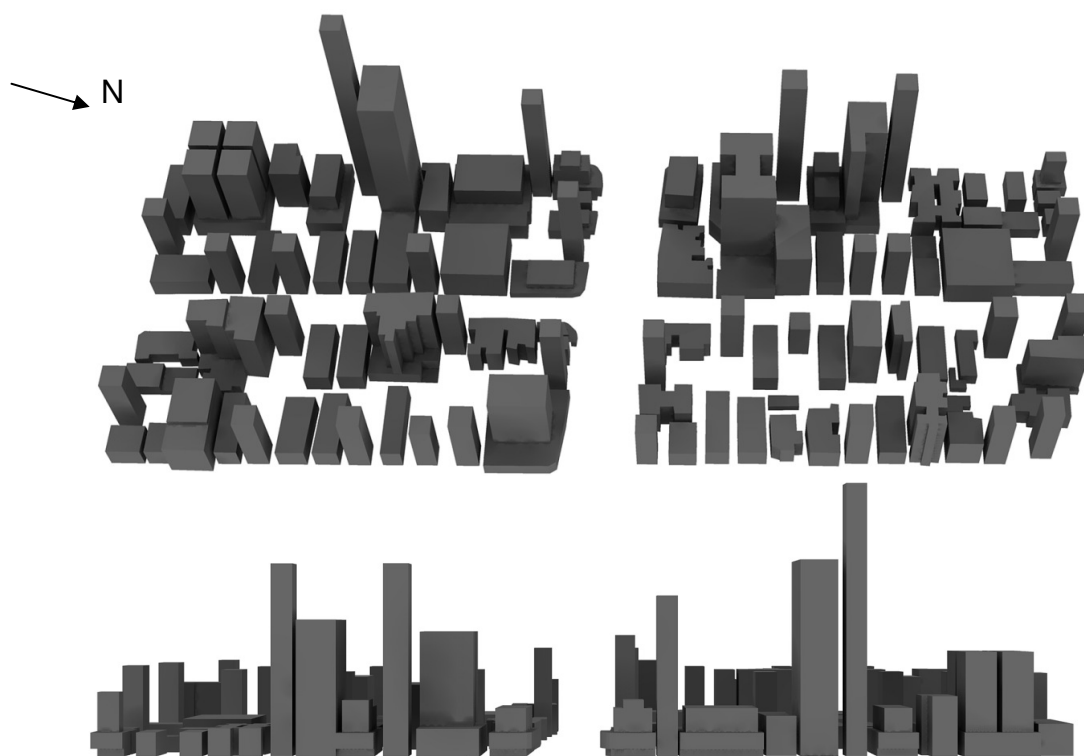


Figura 55 – Volumetria geral e frontal (pela av. Rio Branco) resultante para a simulação MISTA – lei atual. Volume edificado final: 401.984 m³. Fonte: Autor.

As figuras 56, 57 e 58, por sua vez, correspondem à configuração máxima permitida pela Proposta de alteração da lei, para os modelos vertical, horizontal e misto, respectivamente.

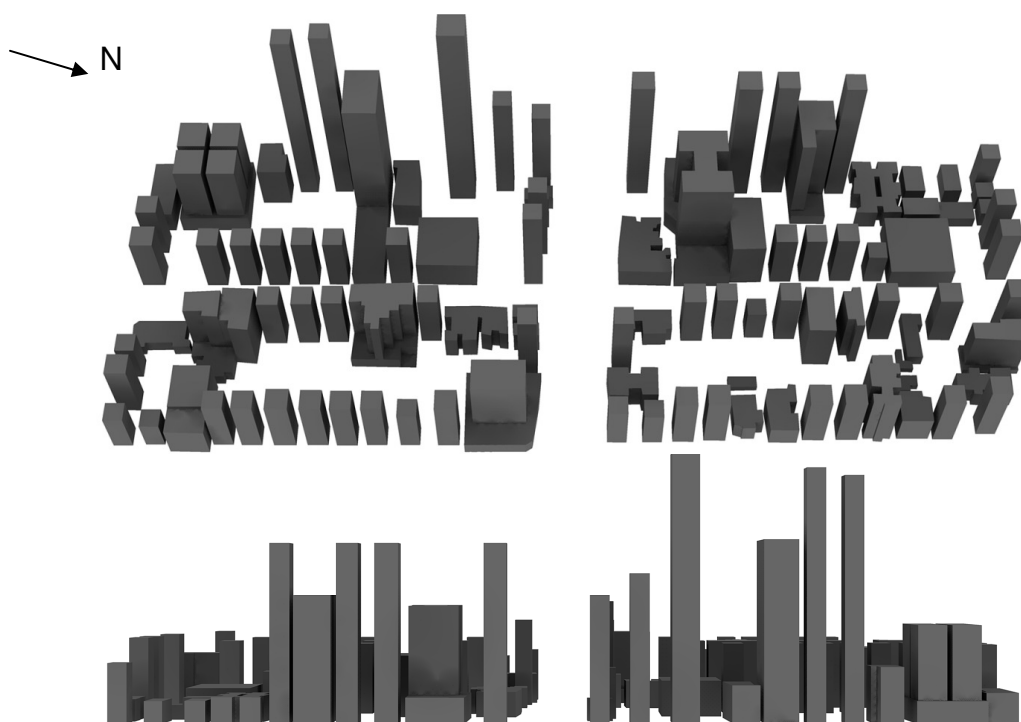


Figura 56 – Volumetria geral e frontal (pela av. Rio Branco) resultante para a simulação VERTICAL – PROPOSTA DE LEI. Volume edificado final: 443.705m³. Fonte: Autor.



Figura 57 – Volumetria geral e frontal (pela av. Rio Branco) resultante para a simulação HORIZONTAL - PROPOSTA DE LEI. Volume edificado final: 443.664 m³. Fonte: Autor.

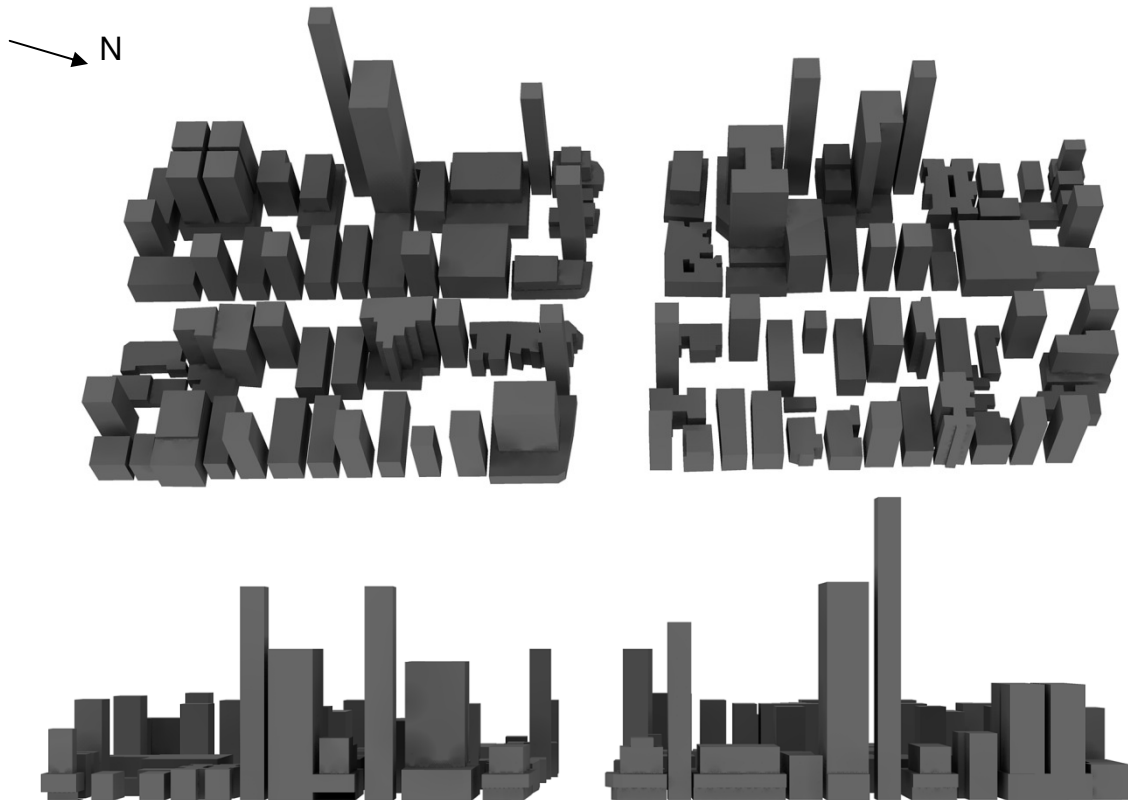


Figura 58 – Volumetria geral e frontal (pela av. Rio Branco) resultante para a simulação MISTA - PROPOSTA DE LEI. Volume edificado final: 455.476 m³. Fonte: Autor.

Obtidas as volumetrias finais para cada caso em análise, partiu-se para as simulações de cada conjunto no programa ENVI-met.

Os valores de entrada ajustados anteriormente são os mesmos para todos os casos, assim como não são feitas alterações no tipo de recobrimento do solo ou vegetação. Ressalta-se que o modelo de recobrimento e vegetação aplicado para as simulações é o mesmo que foi levantado *in loco*, sendo somente desconsideradas as vegetações que coincidiram com o local de uma das novas edificações.

5 RESULTADOS E PROPOSTAS

Neste capítulo são apresentados primeiramente os resultados das simulações de temperatura, umidade relativa e ventilação urbana para cada uma das situações modeladas anteriormente.

Em seguida são realizadas comparações entre os resultados para cada uma das variáveis e sua relação com o todo. Busca-se com isso, perceber quais configurações apresentam maiores impactos quanto ao conforto térmico e qual a relação entre esses resultados e as situações urbanas conformadas.

5.1 RESULTADO DAS SIMULAÇÕES DE TEMPERATURA, UR E VENTILAÇÃO

Os mapas de temperatura, umidade relativa e velocidade do ar das simulações descritas são apresentadas nas Figura 599, 60 e 61 respectivamente, enquanto a Figura 622 corresponde à representação das trajetórias dos ventos, simuladas pelo ENVI-met.

A Tabela 8 seguinte apresenta um resumo sintético dos valores máximos, médios e mínimos de temperatura do ar para cada uma das simulações.

Da mesma forma, a Tabela 9, mostra os valores máximos, médios e mínimos de umidade do ar para cada simulação.

Finalmente, a Tabela 10 apresenta os valores máximos, médios e mínimos de velocidade do ar para cada uma das simulações.

Tabela 8 – Temperatura do ar °C para simulações realizadas. Fonte: Autor.

| Situação Atual | | Tmáx °C | Tmín °C | Tméd °C | | | Tmáx °C | Tmín °C | Tméd °C |
|--------------------|------------|---------|---------|---------|---------------------|------------|---------|---------|---------|
| Legislação Vigente | Horizontal | 29,94 | 28,14 | 29,09 | Legislação Proposta | Horizontal | 29,9 | 28,06 | 28,95 |
| | Vertical | 29,69 | 27,91 | 28,64 | | Vertical | 29,62 | 27,83 | 28,59 |
| | Mista | 29,97 | 28,05 | 28,82 | | Mista | 29,86 | 27,98 | 28,8 |

Tabela 9 – Umidade Relativa % - para simulações realizadas. Fonte: Autor.

| Situação Atual | | UR máx% | UR mín % | UR méd % | | | UR máx % | UR mín % | UR méd % |
|--------------------|------------|---------|----------|----------|---------------------|------------|----------|----------|----------|
| Legislação Vigente | Horizontal | 66,02 | 52,08 | 56,2 | Legislação Proposta | Horizontal | 66,8 | 52,94 | 56,93 |
| | Vertical | 66,48 | 52,82 | 56,7 | | Vertical | 70,66 | 54,46 | 58,96 |
| | Mista | 69,74 | 54,4 | 58,65 | | Mista | 68,59 | 54,16 | 58,1 |

Tabela 10 – Velocidade do ar m/s - para simulações realizadas Fonte: Autor.

| Situação Atual | | Vmáx m/s | Vmín m/s | Vméd m/s | | | Vmáx m/s | Vmín m/s | Vméd m/s |
|--------------------|------------|----------|----------|----------|---------------------|------------|----------|----------|----------|
| Legislação Vigente | Horizontal | 2,44 | 0,24 | 1,23 | Legislação Proposta | Horizontal | 2,49 | 0,25 | 1,22 |
| | Vertical | 3,12 | 0,32 | 1,08 | | Vertical | 3,09 | 0,31 | 1,06 |
| | Mista | 2,87 | 0,29 | 1,06 | | Mista | 2,72 | 0,28 | 1,06 |

5.2 SIMULAÇÃO DE INDICADORES DE CONFORTO

Os mapas de PMV das simulações descritas a seguir se encontram todas na Figura 633. A Figura 644 corresponde à representação dos mapas de PPD das mesmas situações.

A Tabela 11 seguinte, mostra os valores máximos, médios e mínimos de PMV para cada uma das simulações.

Da mesma forma, a Tabela 12 apresenta os valores máximos, médios e mínimos de PPD para cada uma das simulações.

Tabela 11 – PMV para simulações realizadas. Fonte: Autor.

| Situação Atual | | PMV máx | PMV mín | PMV méd | | | PMV máx | PMV mín | PMV méd |
|--------------------|------------|---------|---------|---------|---------------------|------------|---------|---------|---------|
| Legislação Vigente | Horizontal | 4,97 | 1,71 | 4 | Legislação Proposta | Horizontal | 5,03 | 1,7 | 3,9 |
| | Vertical | 5,04 | 1,71 | 3,9 | | Vertical | 4,94 | 1,61 | 3,7 |
| | Mista | 4,93 | 1,59 | 3,7 | | Mista | 5 | 1,66 | 3,8 |

Tabela 12 – PPD (%) para simulações realizadas. Fonte: Autor.

| Situação Atual | | PPD máx% | PPD mín % | PPD méd % | | | PPD máx% | PPD mín % | PPD méd % |
|--------------------|------------|----------|-----------|-----------|---------------------|------------|----------|-----------|-----------|
| Legislação Vigente | Horizontal | 100 | 48,66 | 96,14 | Legislação Proposta | Horizontal | 100 | 47,9 | 95,13 |
| | Vertical | 100 | 48,14 | 95,2 | | Vertical | 100 | 43,72 | 92,6 |
| | Mista | 100 | 42,72 | 93,1 | | Mista | 100 | 45,74 | 94,25 |

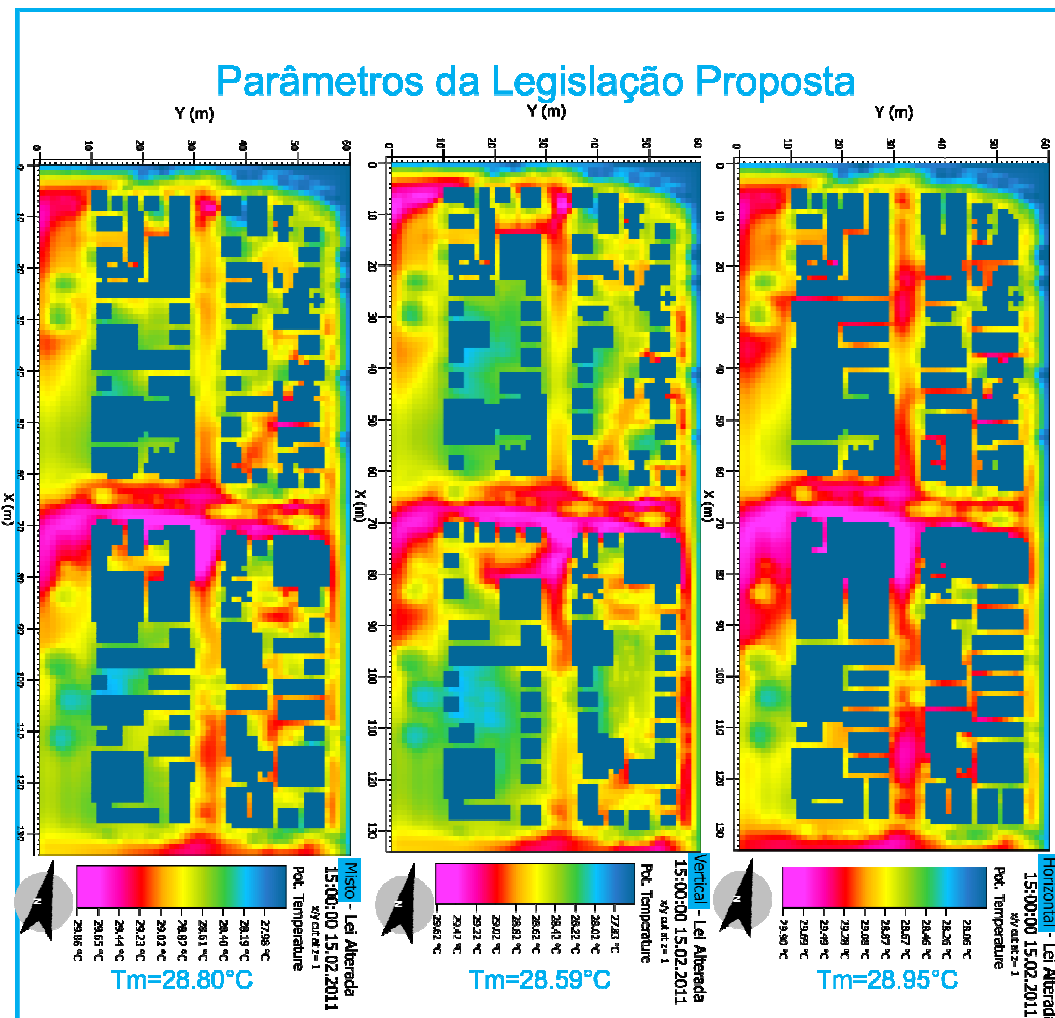
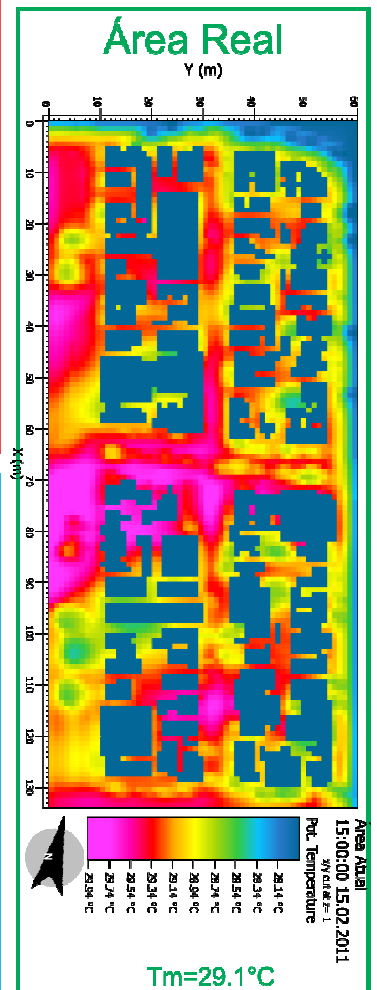
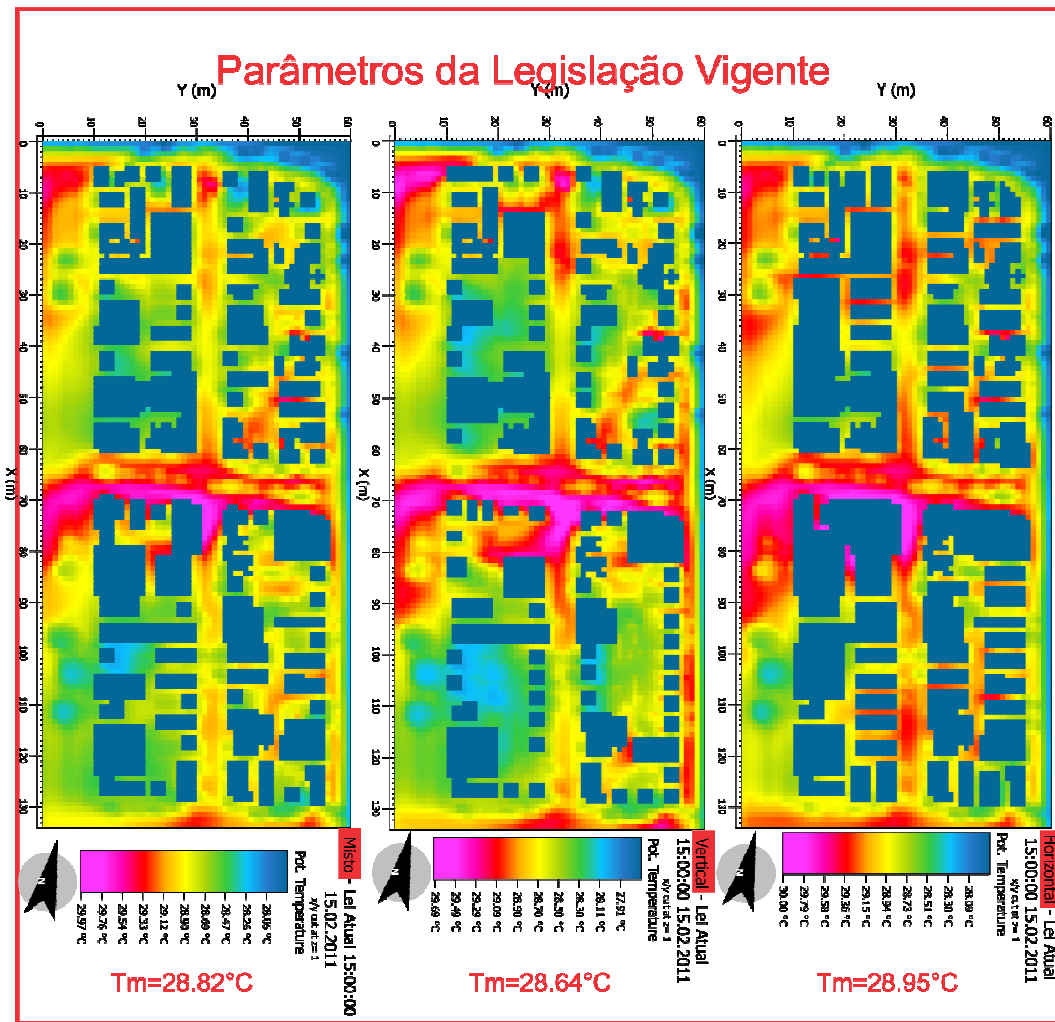


Figura 59 – Mapa de Temperatura do Ar - 15/02/2011 – 15h. Fonte: Envi-met

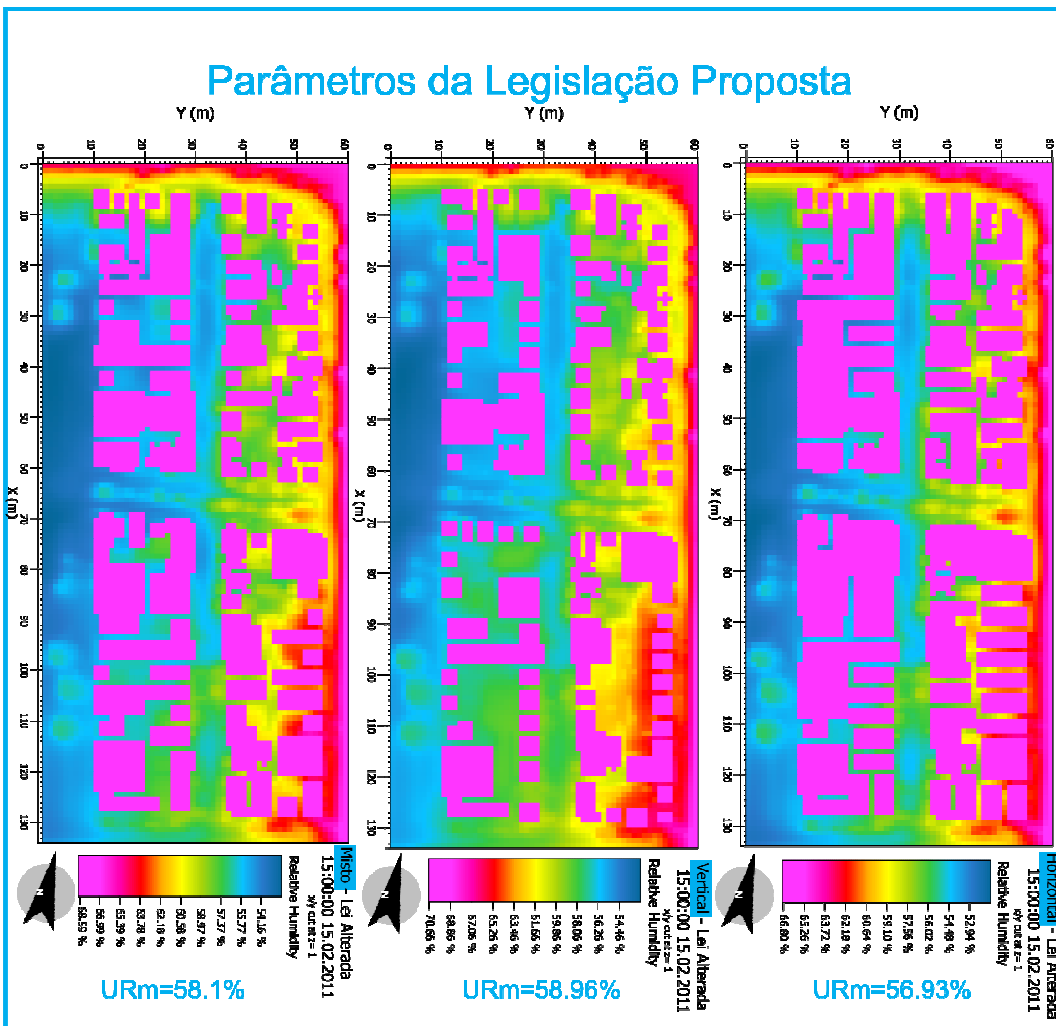
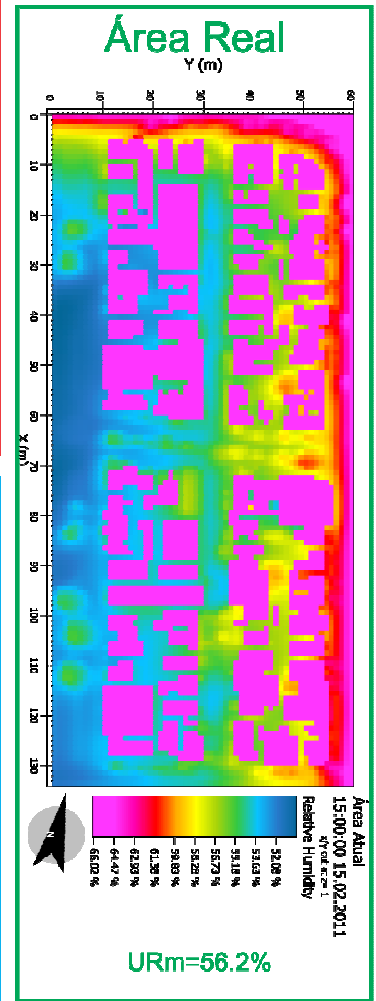
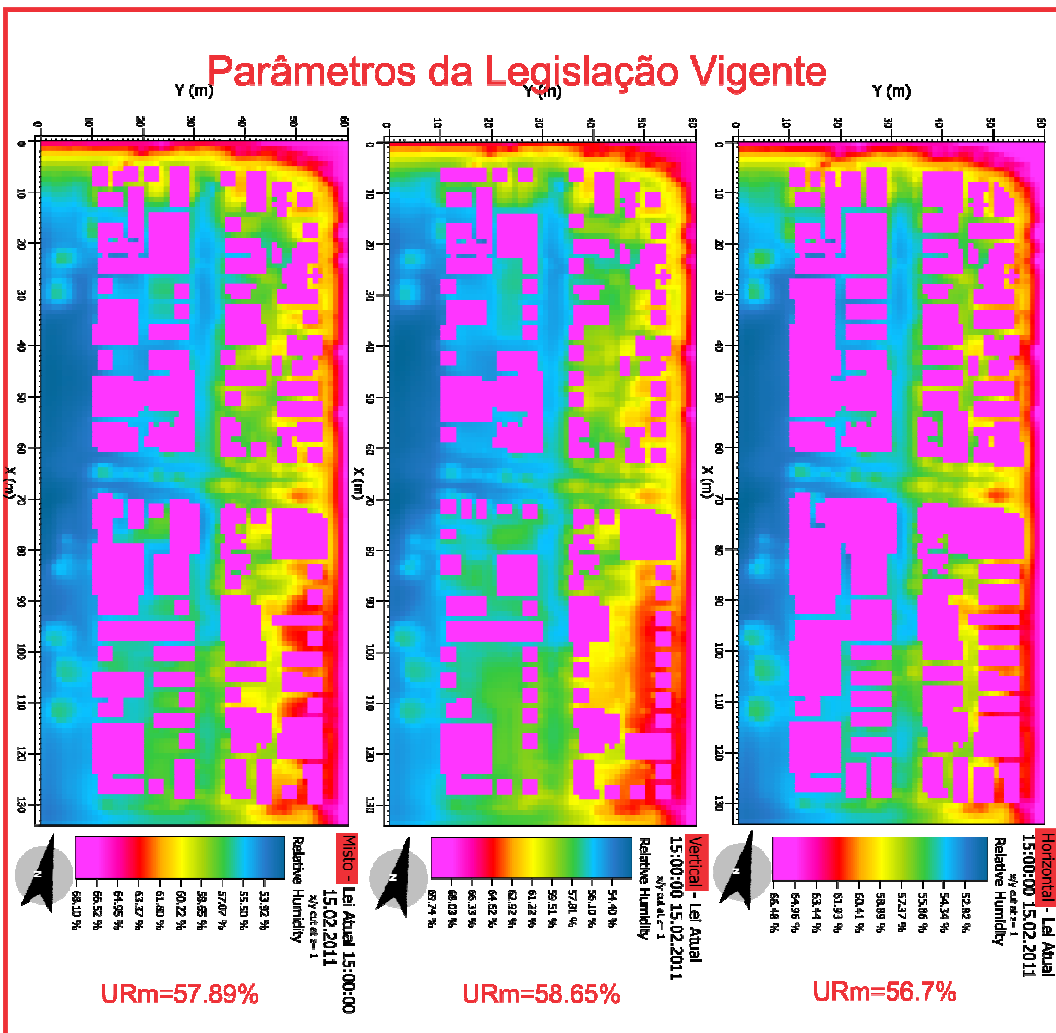


Figura 60 – Mapa de Umidade Relativa do Ar - 15/02/2011 – 15h. Fonte: Envi-met

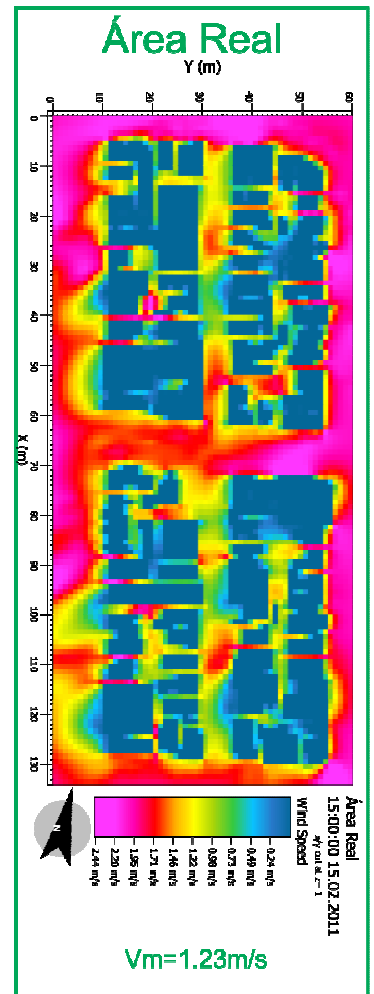
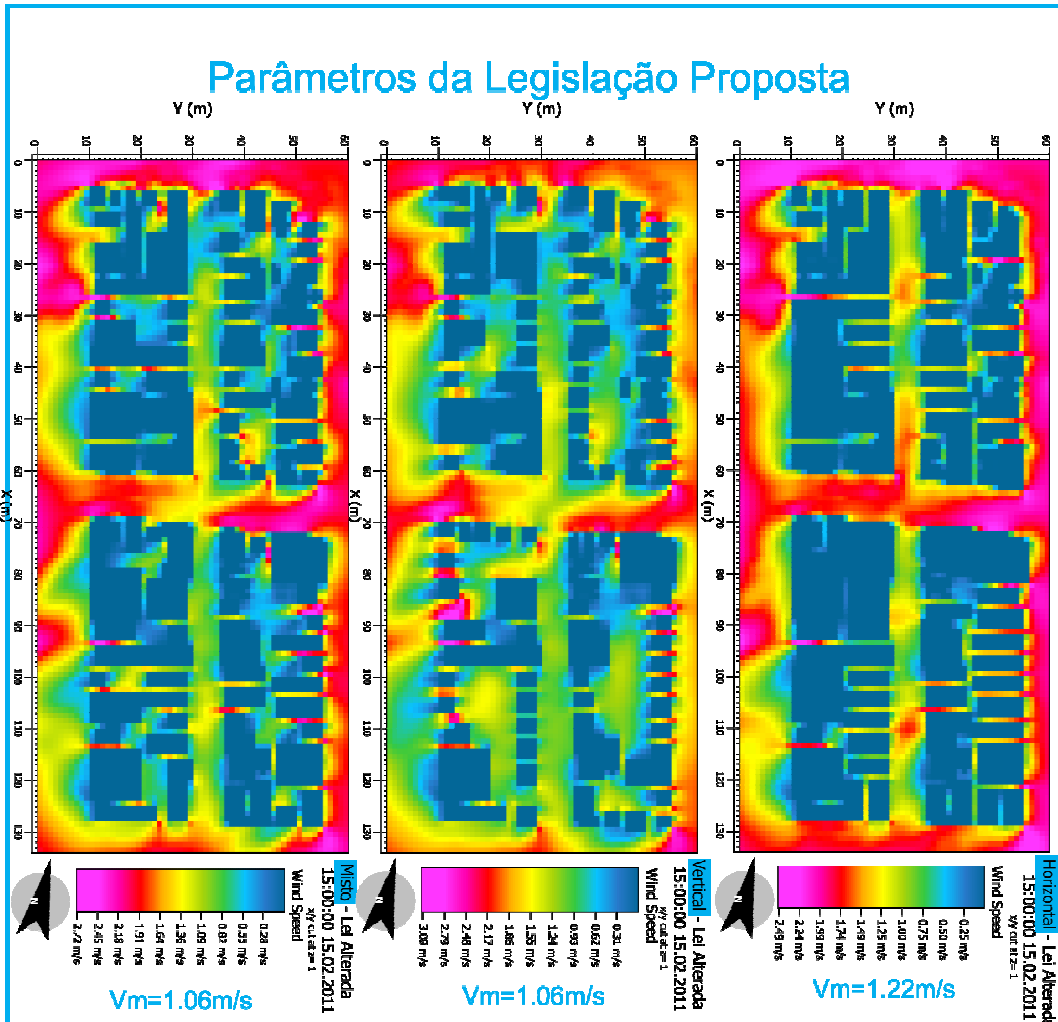
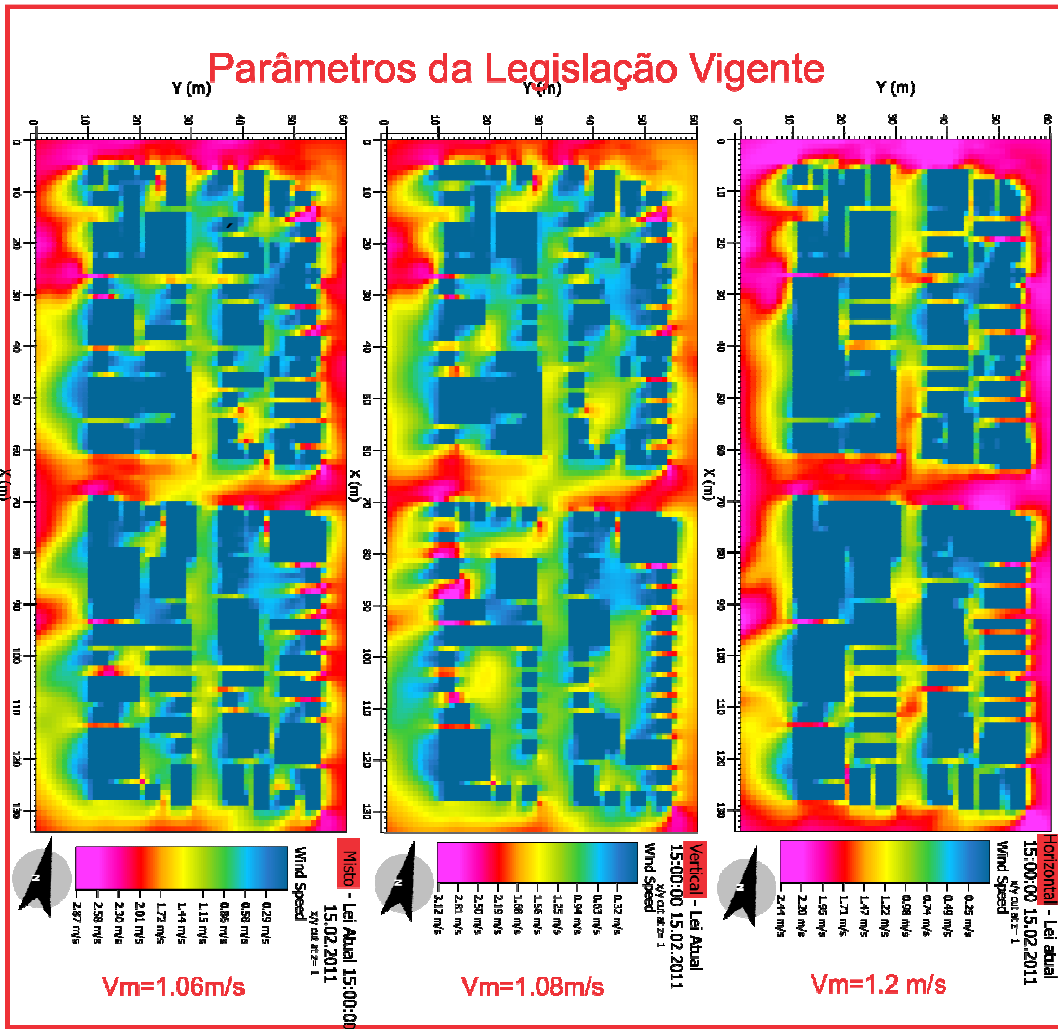


Figura 61 – Mapa de Velocidade do Ar - 15/02/2011 – 15h. Fonte: Envi-met

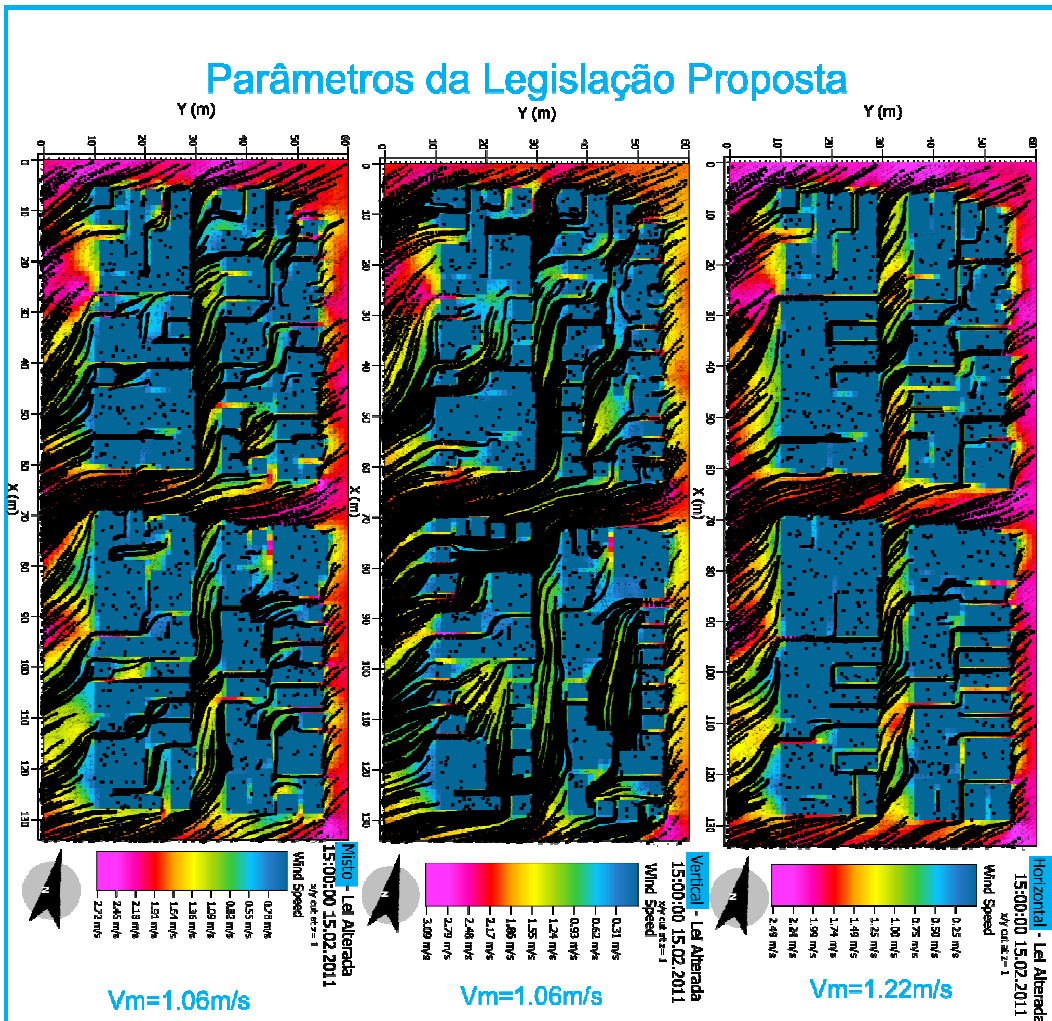
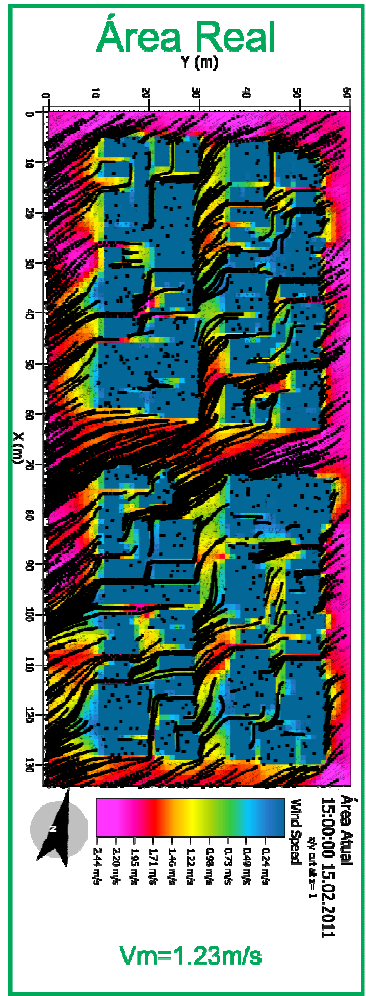
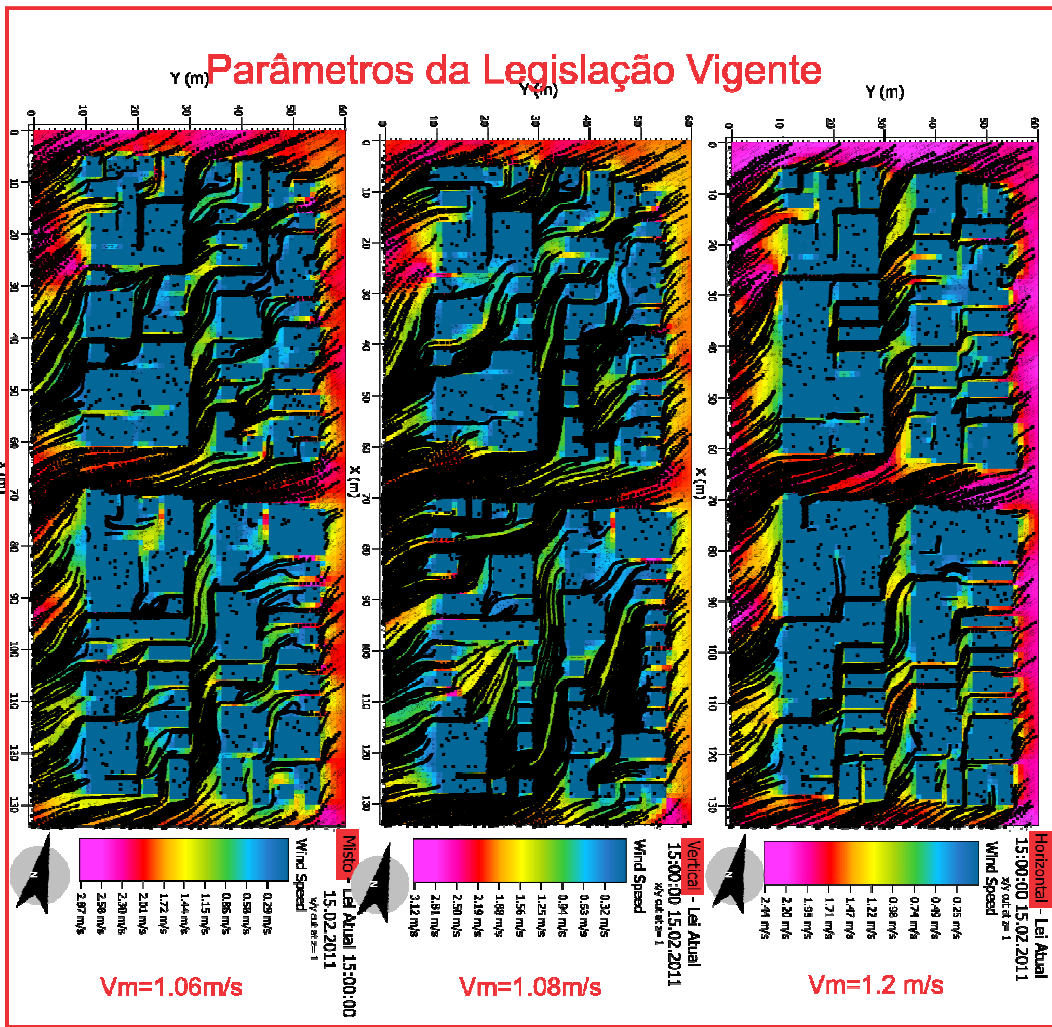


Figura 62 – Trajetória dos ventos - 15/02/2011 – 15h. Fonte: Envi-met

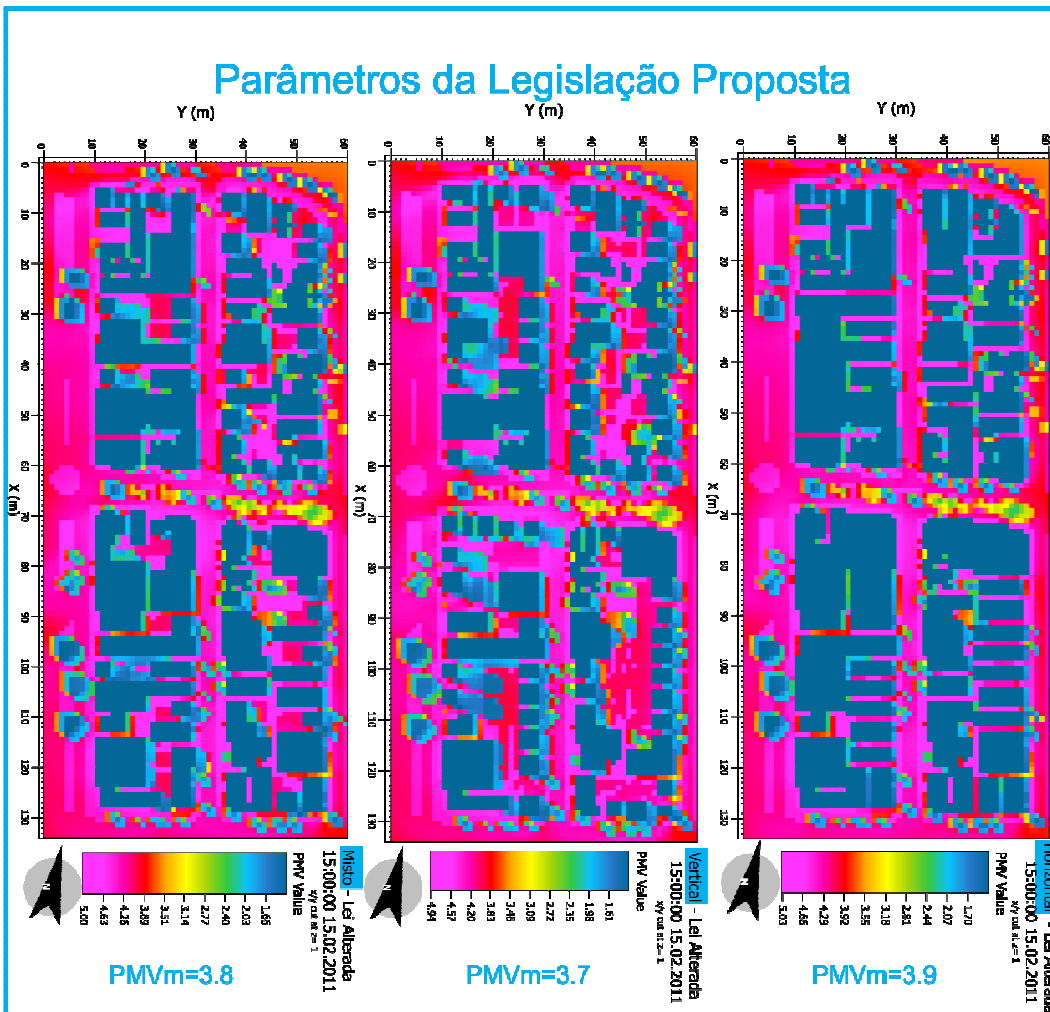
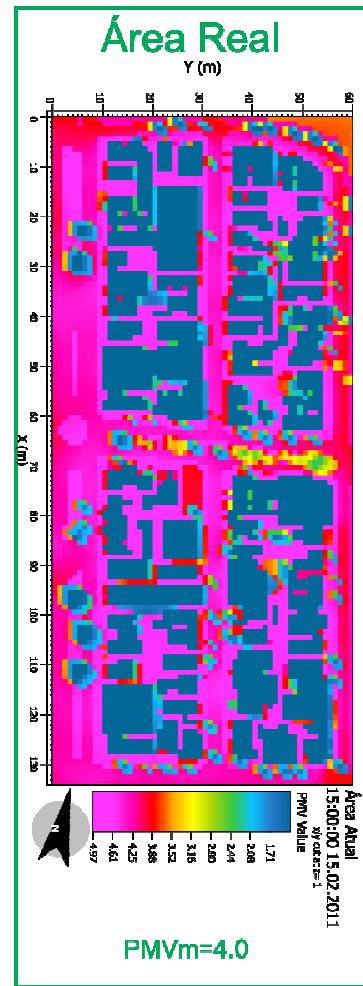
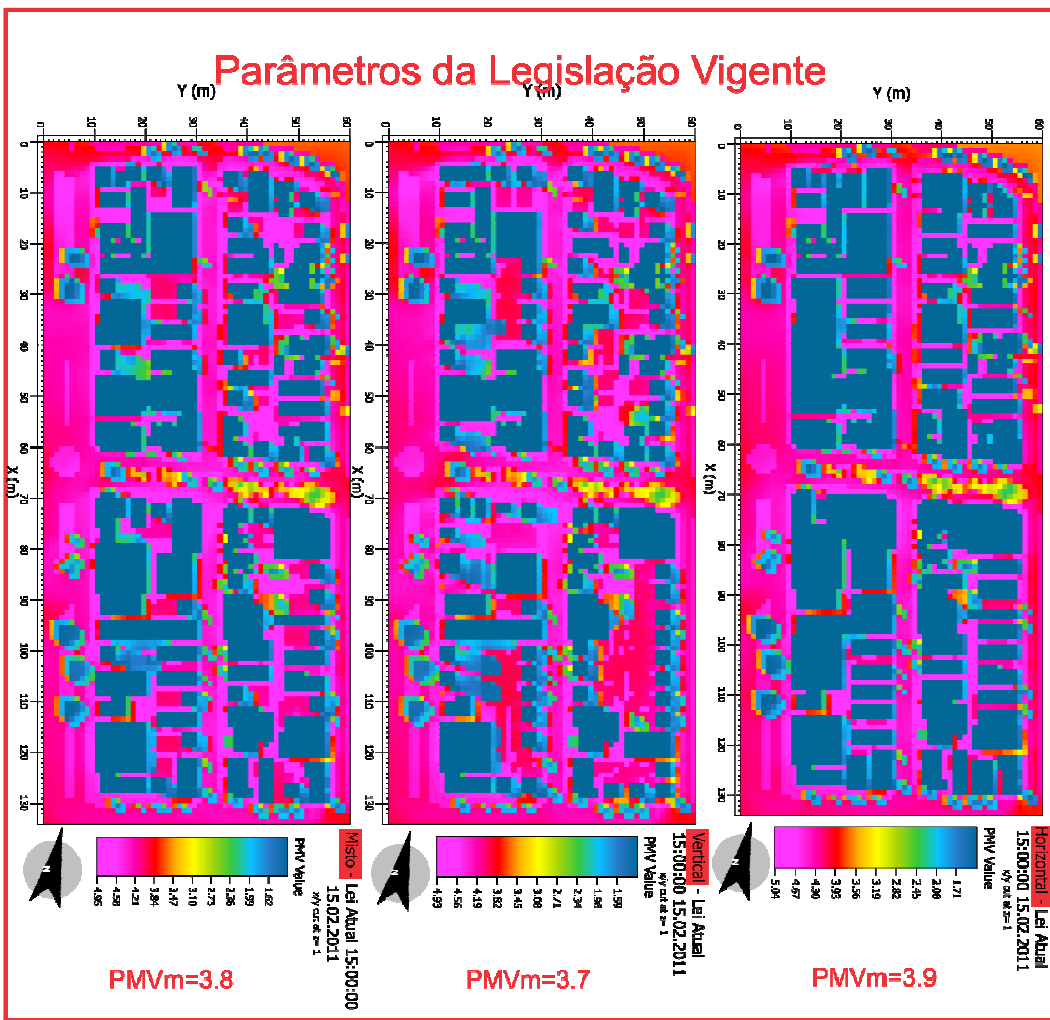


Figura 63 - Mapa de PMV - 15/02/2011 – 15h. Fonte: Envi-met

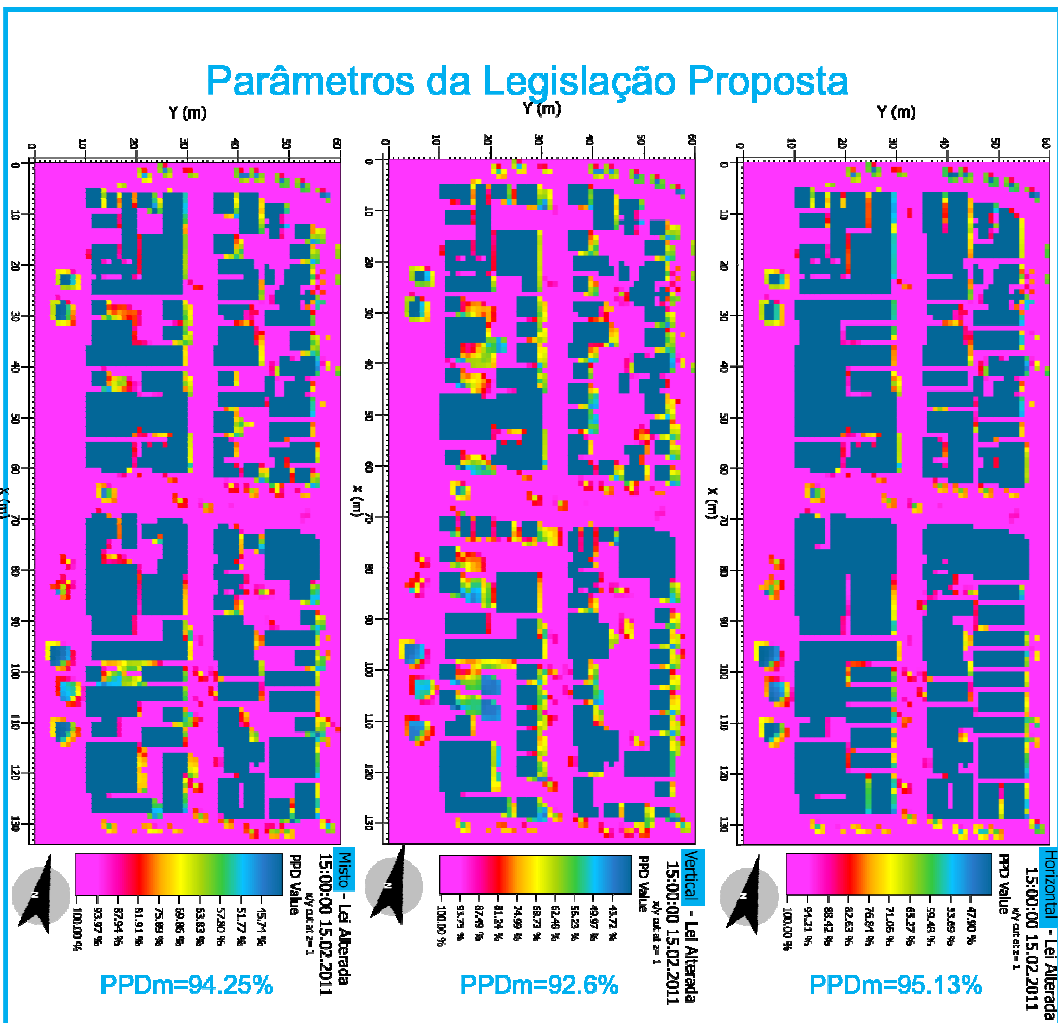
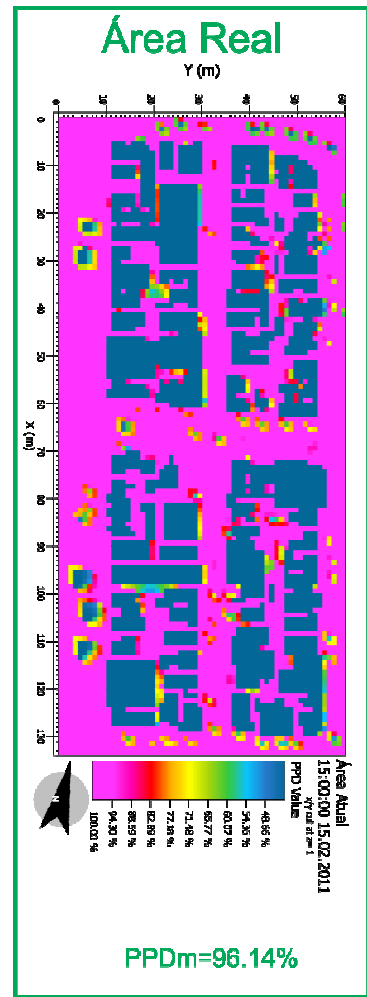
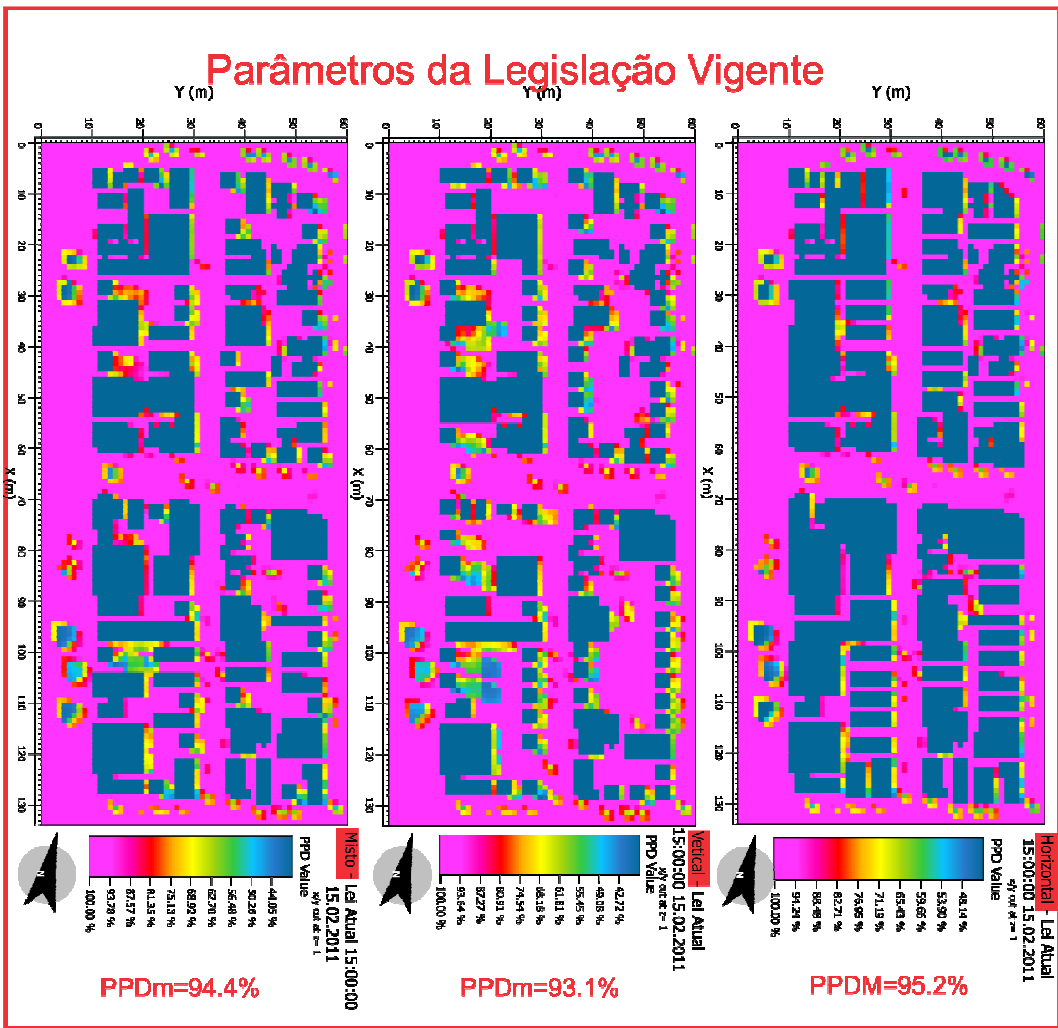


Figura 64 – Mapa de PPD - 15/02/2011 – 15h. Fonte: Envi-met

5.3 COMPARAÇÃO ENTRE SIMULAÇÕES

Foi feita uma análise comparativa entre as simulações para cada variável: temperatura, velocidade e umidade do ar, índices de PMV e PPD. Os resultados são sintetizados em gráficos (Figura 655) que foram organizados de modo a comparar o resultado simulado da configuração atual levantada com os outros modelos legislativos de máximo de ocupação, como os modelos horizontais, verticais e mistos. Esta comparação visa verificar quais simulações mostraram melhores resultados para cada variável.

A análise dos resultados obtidos (Figura 655 e Figura 666) demonstra que de um modo geral os resultados das simulações, para cada variável, possuem valores bem próximos uns dos outros, não havendo grandes discrepâncias entre os resultados quantitativos. A seguir serão apresentadas as conclusões para cada variável.

- Para Temperatura:

Os gráficos da Figura 655 evidenciam que ao se comparar cada grupo de simulações (para a mesma configuração, variando a legislação aplicada) com a área real edificada, o modelo de legislação da proposta de alteração da lei apresenta melhores resultados de temperatura do ar para o horário e dia especificados. Entretanto, apesar da diferença pouco significativa, os resultados do máximo permitido pela lei vigente são inferiores ao da proposta de alteração de lei.

Contudo, mesmo com a diferença entre valores sendo pequena quando analisado quantitativamente, ao se analisar os mapas de maneira qualitativa, pode-se questionar se os resultados da lei vigente não são melhores que o da alteração de lei, devido à distribuição das áreas de menores temperaturas. Na Figura 67 foram circuladas as áreas comparadas onde se percebe melhores resultados da legislação vigente sobre a Proposta de alteração, para cada modelo construtivo.

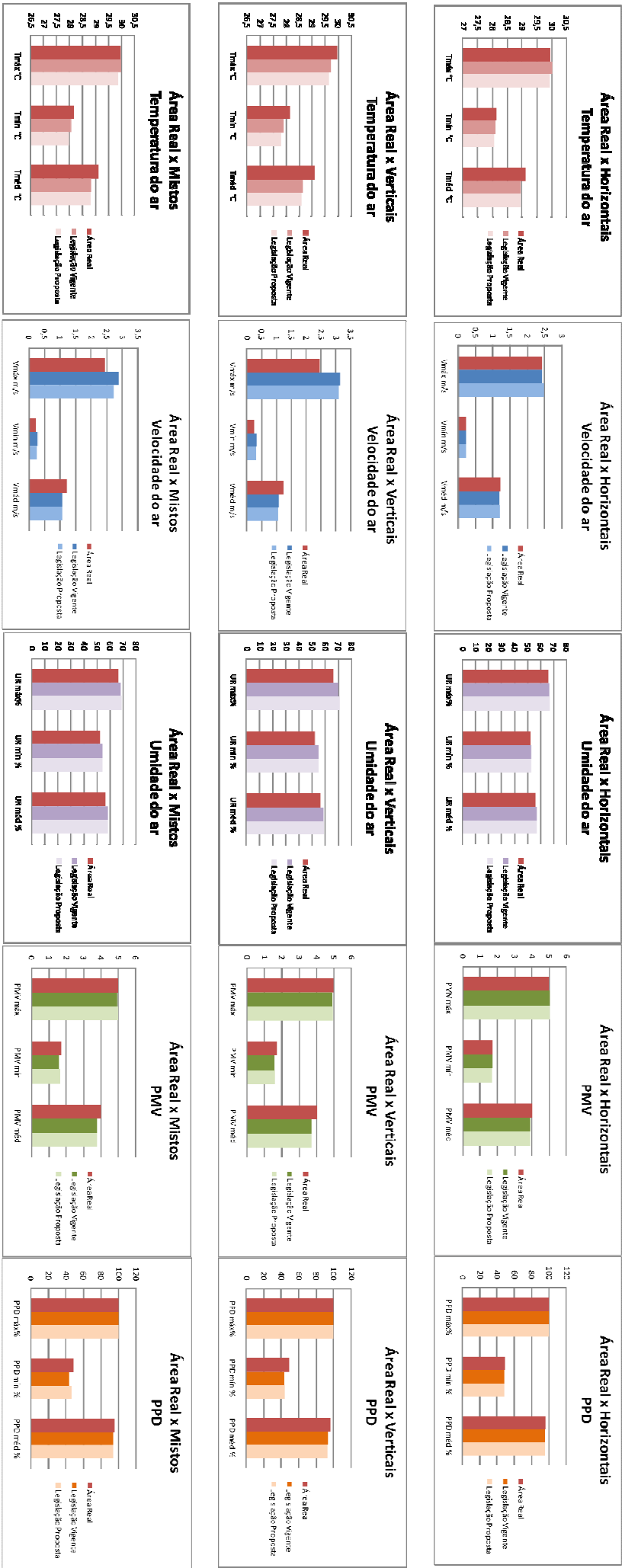


Figura 65 – Gráficos comparativos entre resultados da Área Real e simulações horizontais, verticais e mistas; para cada variável simulada, temperatura, velocidade e umidade do ar, PMV e PPD. Fonte: Autor.

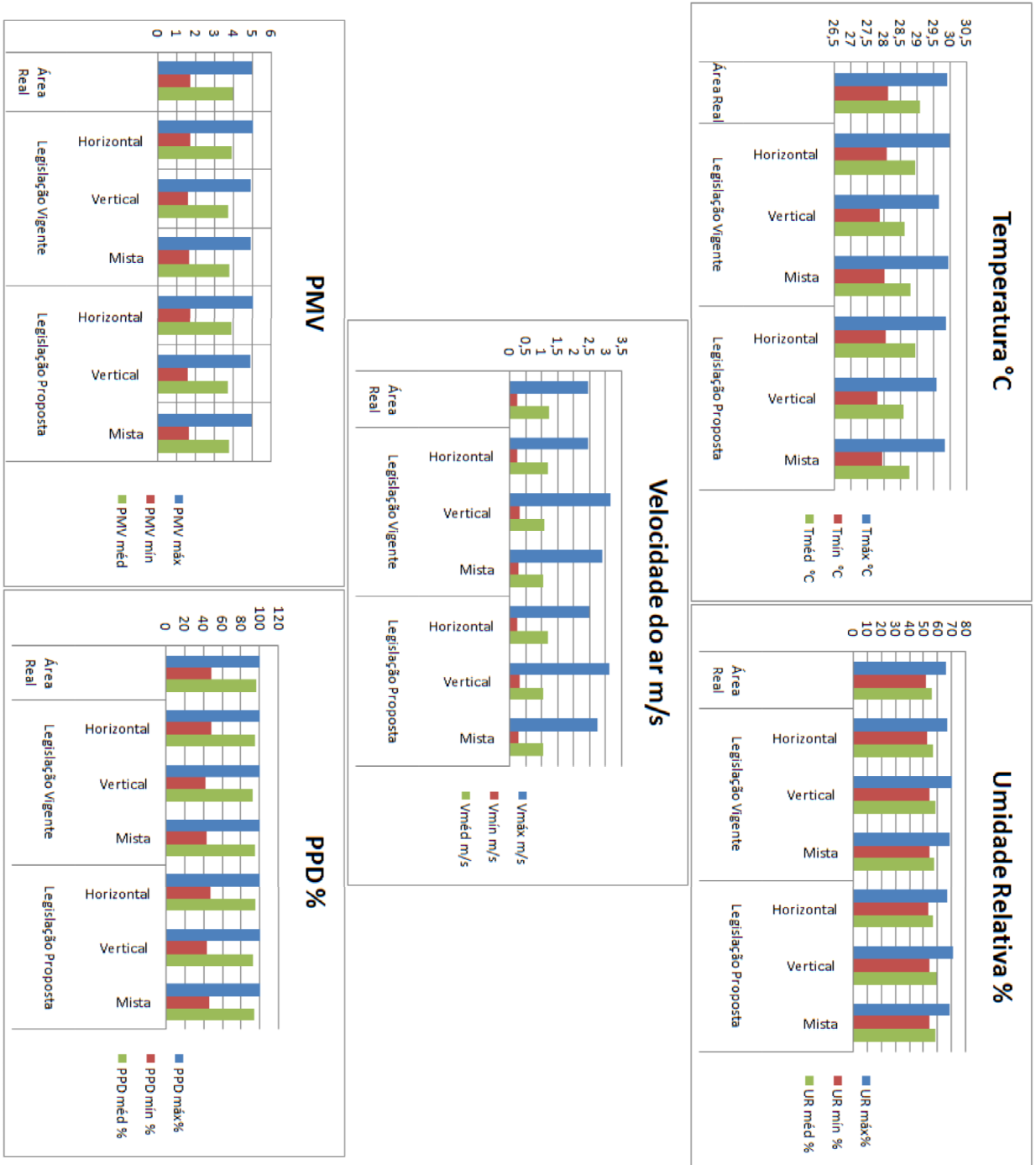


Figura 66 – Gráficos comparativos entre todos os casos simulados para cada variável envolvida. Fonte: Autor.

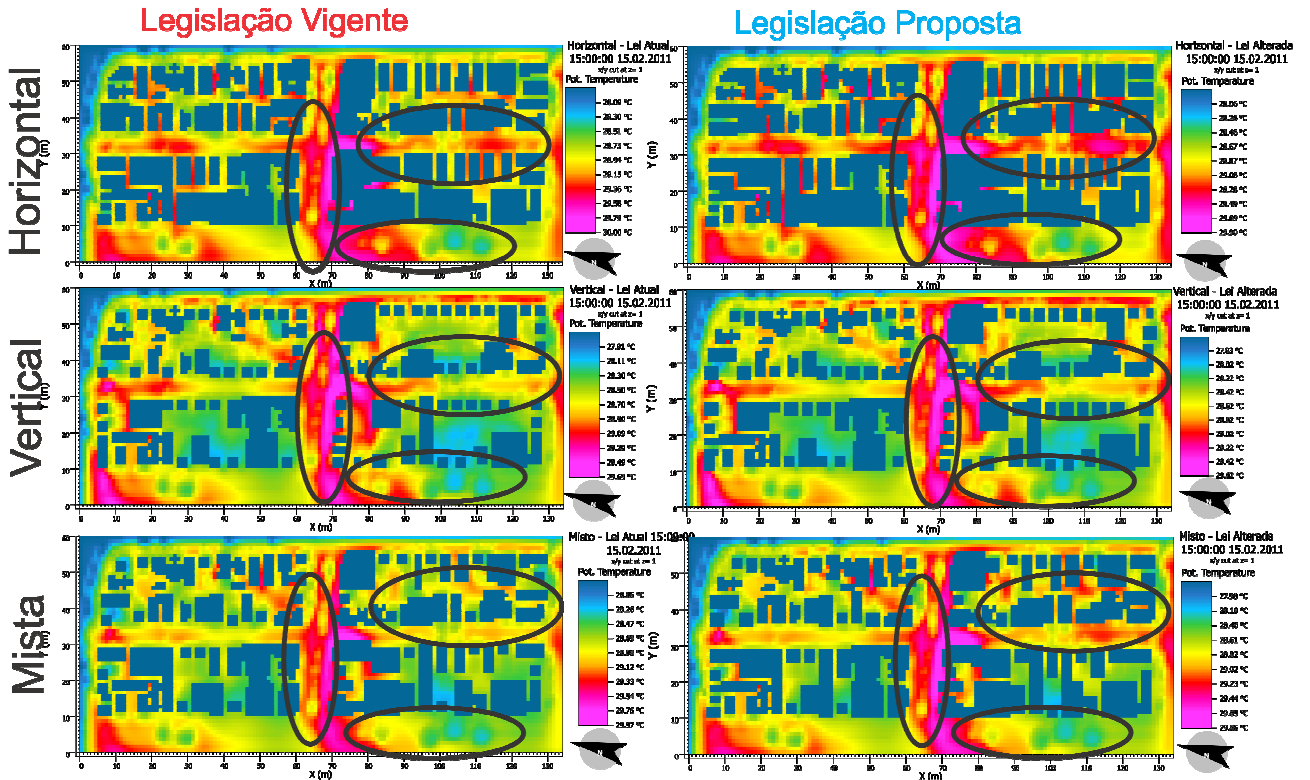
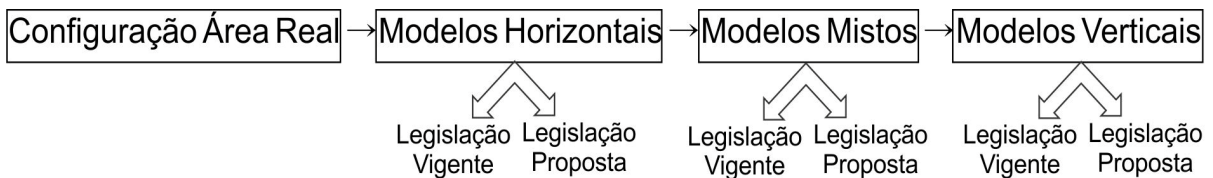


Figura 67 – Imagem comparativa entre manchas de temperatura para cada modelo e legislação analisados. Fonte: Autor.

Na comparação entre as configurações construtivas acima, (Figura 67) o modelo Vertical apresentou os melhores resultados. Pode-se dizer que os melhores resultados são, em ordem crescente de qualidade:



- Para Umidade do Ar:

Para esta variável o modelo de Proposta de alteração de Lei apresentou valores um pouco menores do que o modelo de máximo de ocupação da lei atual, contudo de um modo geral seus resultados podem ser considerados muito próximos.

Na análise dos mapas gerados, percebe-se a grande similaridade entre as simulações de mesmo modelo construtivo (horizontais, verticais e mistos), com pouca diferença visual entre as áreas comparadas (Figura 68). Os modelos horizontal e misto tiveram resultados de maior valor para o máximo da legislação vigente, enquanto para o vertical, a configuração da proposta de alteração de lei obteve maior presença de áreas com maior umidade para as áreas circuladas (azul).

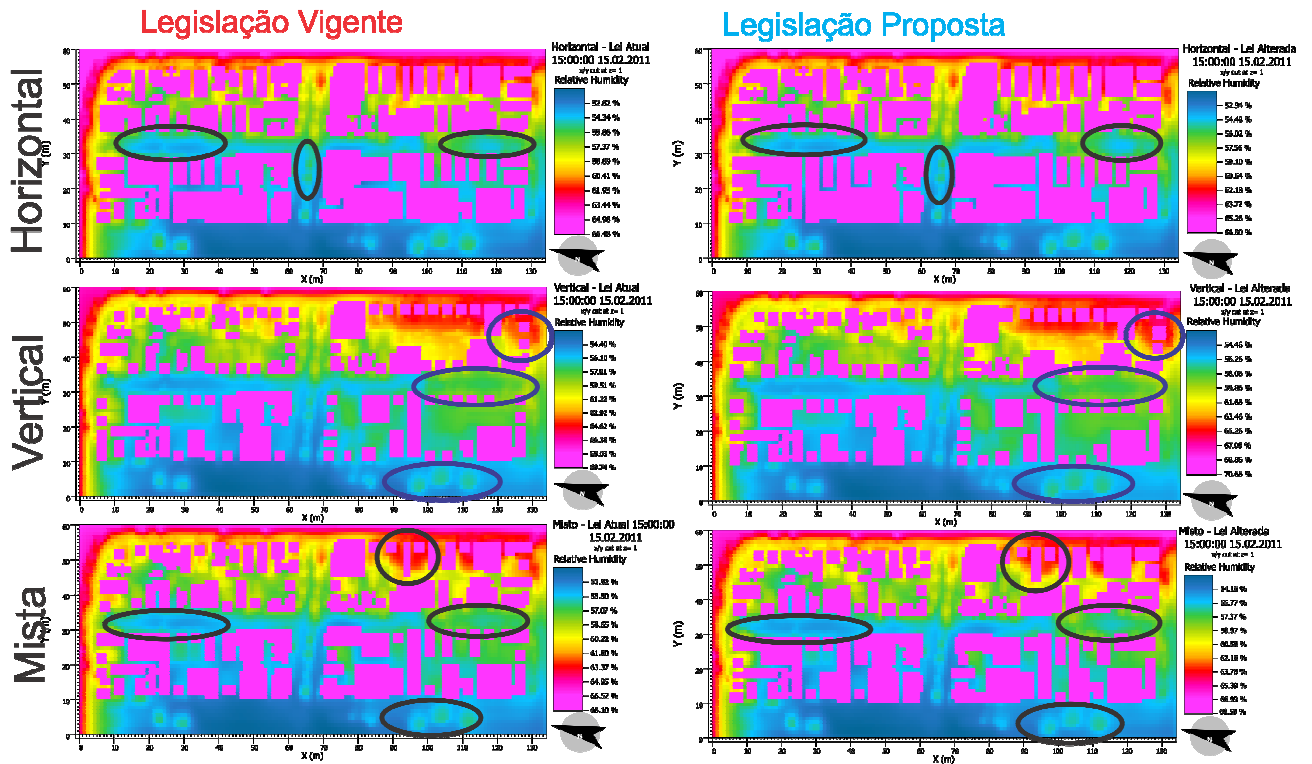
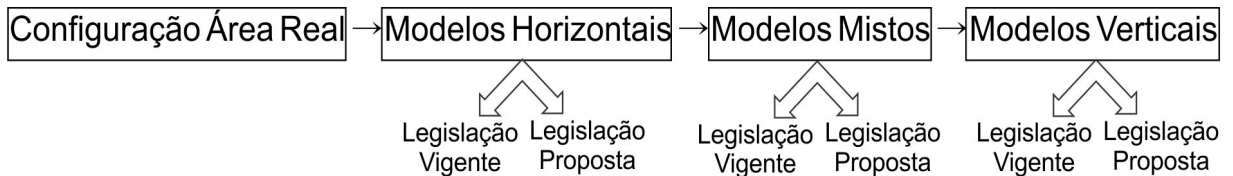


Figura 68- Imagem comparativa entre manchas de umidade do ar para cada modelo e legislação analisados. Fonte: Autor.

O modelo vertical foi o que apresentou melhor distribuição de umidade quando comparados aos demais modelos construídos. Sendo, em ordem crescente de distribuição de umidade:



▪ Para Velocidade do Ar:

Quanto à velocidade do ar, os gráficos da Figura 655 sugerem que o melhor resultado encontrado é apresentado pelo máximo permitido pela legislação vigente, o que pode ser explicado pela maior permeabilidade do vento ocasionada por bases e torres mais delgadas. Isso porque o padrão construtivo da proposta de alteração de Lei é mais permissivo quanto à taxa de ocupação do solo, fazendo com que de um modo geral suas torres sejam mais largas do que as da legislação vigente.

Nos mapas das simulações o mesmo pode ser observado. Os modelos do máximo da legislação vigente possuem melhor distribuição do ar do que os modelos gerados pelo máximo da proposta de alteração de lei (Figura 69). Esta diferença ocorre principalmente dentro das quadras, entre as edificações construídas, o

máximo da legislação vigente permite maiores afastamentos entre as construções, o que ocasiona maior circulação de ar.

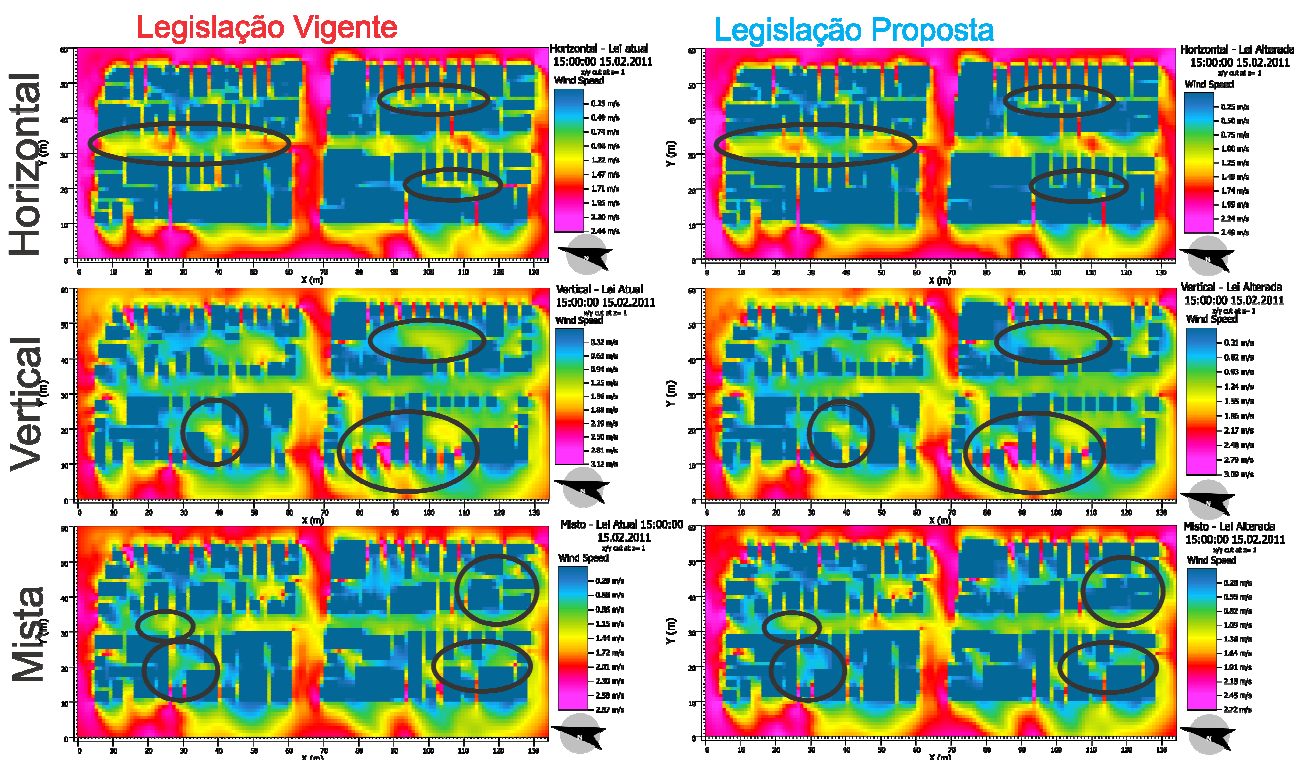
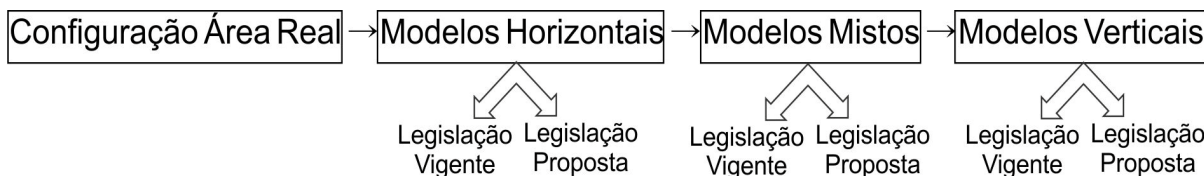


Figura 69 - Imagem comparativa entre manchas de velocidade do vento para cada modelo e legislação analisados. Fonte: Autor.

O modelo vertical apresentou melhores resultados, quando comparado aos demais modelos construídos. Sendo, em ordem crescente de qualidade:



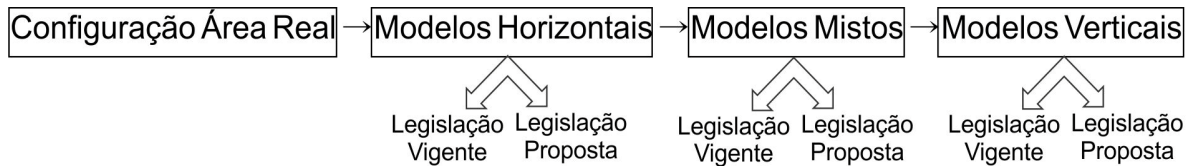
- Para índice PMV e PPD:

Para os índices de PMV e PPD os resultados entre as legislações aplicadas comparadas a área construída existente demonstra que o máximo permitido pela legislação vigente é considerado mais confortável pelo usuário do que as configurações máximas para a proposta de alteração da lei. A área real levantada *in loco* é a que apresenta os resultados mais desconfortáveis em termos dos índices analisados.

Na comparação entre os mapas, pouca diferença é notada entre os modelos gerados para cada legislação (Figura 633 e Figura 644), havendo diferença somente

quando comparados as diferentes configurações de ocupação máxima (horizontal, vertical e mista).

O modelo vertical apresentou melhores resultados, quando comparado aos demais modelos construídos. Sendo, em ordem crescente:



5.4 ANÁLISE SOBRE DENSIFICAÇÃO FUTURA

É sabido que a área em estudo possui forte tendência à densificação futura. Os estudos apresentados buscaram o máximo de densificação permitida tanto para a legislação vigente quanto para a proposta de alteração da lei atual (JUIZ DE FORA, 2007a).

Percebeu-se que legislação proposta pelo legislativo é mais permissiva e, portanto permite maior taxa de ocupação e coeficiente de aproveitamento, o que resulta em um volume final de 43% de aumento em relação à área construída atualmente. Enquanto que o resultado para o máximo de aproveitamento do solo pela Lei vigente densificou a área atual em 29%, para a mesma relação.

Contudo, intencionava-se saber o que este crescimento acarreta no conforto térmico urbano da área em análise. Os resultados demonstraram que a área atual, como se encontra, foi a que possuiu os piores resultados para cada uma das variáveis e também para os índices de conforto utilizados. Este resultado é plausível com o histórico do crescimento urbano da área, e pode ser explicado pelo fato de algumas das edificações terem sido construídas segundo parâmetros de uma legislação construtiva anterior à vigente atualmente, levando ainda a se concluir que a mesma teria sido mais permissiva e com taxas de ocupação e aproveitamento do solo, ainda maiores do que os valores abarcados pela legislação atual.

O resultado da configuração atual como o pior resultado encontrado no estudo, com cerca de 96% de usuários desconfortáveis para o período de verão (15/fevereiro), no horário de 15h da tarde, leva a crer que não necessariamente menores densidades implicam em resultados urbanos confortáveis, no ponto de vista higrotérmico. Ou seja, a baixa densidade em si, não garante bons resultados de conforto urbano.

Comparando-se os resultados entre a legislação vigente e a legislação alterada pela proposta, observa-se que de uma maneira geral seus resultados térmicos, de umidade e ventilação e até mesmo dos índices de conforto são bem parecidos. Contudo percebe-se uma melhor distribuição das manchas nos modelos da legislação vigente. Além disso, pode-se dizer que com relação à ventilação urbana, existe uma melhora considerável na ventilação entre edifícios para os moldes da legislação atual.

Na análise das configurações urbanas, horizontal, vertical e mista, pode-se dizer que o melhor resultado encontrado foi o do modelo Vertical, seguido pelo Misto e por fim pelo Horizontal. Este resultado está intimamente ligado à maior circulação de ar, distribuição de umidade e consequentemente de atenuação térmica proporcionados pelos maiores espaçamentos entre as edificações.

Todavia, mesmo o melhor resultado: modelo Vertical do máximo permitido pela legislação vigente, não pode ser considerado confortável termicamente para o horário e período analisados. Isto porque o índice de pessoas insatisfeitas para este modelo é, em média, 93% e a ISO 7730 não recomenda índices superiores a 10%. O outro índice analisado, PMV, fica em média no valor de +3,7, considerado como *muito quente* (FIGURA 08) pelos parâmetros de Fanger (1970 apud CASTRO, 2005).

Considerando-se a adequação do índice de PMV para a área de estudo (ZAMBRANO, MALAFAIA, BASTOS, 2006) o valor corrigido ficaria em 2,2, o que pela tabela de Fanger corresponde à sensação *quente* com PPD de 75%. Ou seja, mesmo com a adaptação dos valores à realidade climática local, nem o melhor resultado pôde ser considerado confortável termicamente.

Neste contexto, pode-se concluir que mesmo densificando de 29% à 43% a área atual, conseguiu-se melhoras nos parâmetros de conforto analisados, o que demonstra que a densificação da área não necessariamente é um fator negativo. Contudo, ressalva-se que para os casos analisados, mesmo obtendo-se melhora com a densificação, não ocorreram resultados considerados confortáveis.

Sendo assim, pode-se dizer que é possível prever a densificação da área de estudo, segundo os parâmetros máximos da legislação. Contudo, a densificação máxima, seja ela verticalizada, horizontalizada ou mista, não traz resultados finais aceitáveis no nível de conforto para este caso. Isto, a não ser que sejam estudadas e previstas outras alterações urbanas que influenciem significativamente o conforto

térmico e ambiental final do espaço em análise, como acréscimo de áreas verdes, corpos d'água, dentre outros, a serem analisados conforme a necessidade.

Pode-se dizer que, mantendo-se os padrões construtivos atuais, a densidade ideal desta área estaria entre a densidade atual e a máxima permitida pela lei atual (400mil m³). Desta forma, conclui-se que esta área suporta uma maior densificação, sendo que a mesma deve ser estudada de modo a prover a nova configuração com índices de conforto admissíveis.

5.5 PROPOSTA PARA PIOR SITUAÇÃO

Com intuito de buscar uma possível melhora para o pior resultado alcançado nas simulações, propôs-se procurar alterar o espaço urbano, sem alterar os parâmetros construtivos do modelo em análise, e ainda fazê-lo de modo cabível a uma modificação futura.

Como dito anteriormente, o pior resultado simulado foi o do modelo real levantado. A partir desta constatação, partiu-se para a análise das possíveis alterações a serem feitas para tentar minimizar o desconforto térmico resultante.

Como não se pretendia mexer nas áreas edificadas, restaram apenas as vias e o único lote desocupado para propor soluções. Devido ao fato de não ser prevista a alteração no revestimento do solo da localidade, restou apenas a possibilidade de modificação das espécies arbóreas implantadas atualmente, que seriam modificadas por outras de copas mais densas e que resultassem em maiores áreas sombreadas. Além disso, propôs-se utilizar o lote desocupado como área de lazer, prevendo a implantação de espécies arbóreas em lugares estratégicos visando maior proteção e sombreamento do solo.

Verificando o mapa de temperatura resultante para a área real (Figura 70), percebe-se uma maior concentração de temperaturas elevadas na parte central inferior do mapa (área circulada), o que indicou que a via central, em sentido vertical, deveria receber o tratamento com alteração das espécies arbóreas existentes por outras mais densas.

Através destas análises chegou-se à proposta de modificação representada na Figura 71.

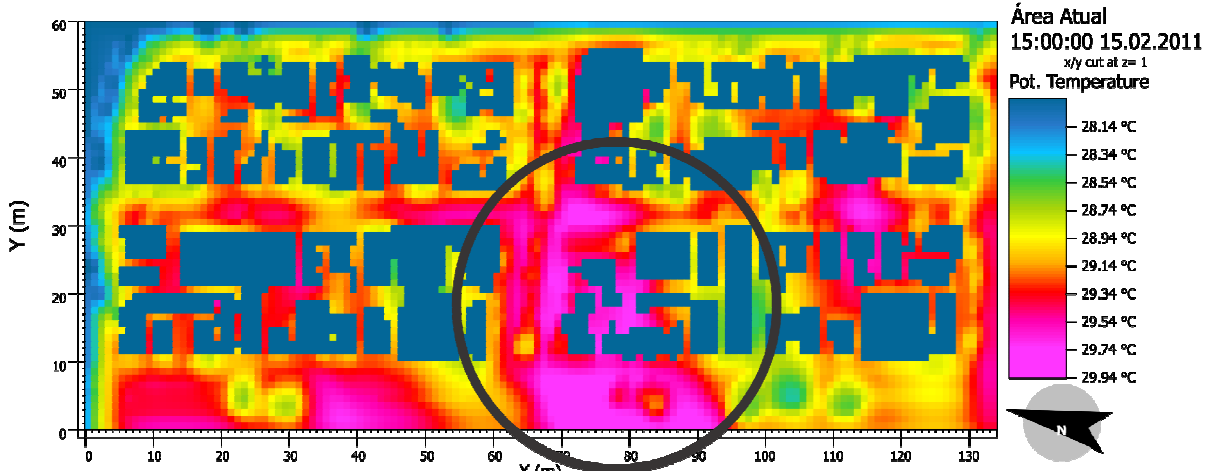


Figura 70- Mapa de temperatura para área real, com demarcação do ponto crítico. Fonte: ENVI-met adaptado.

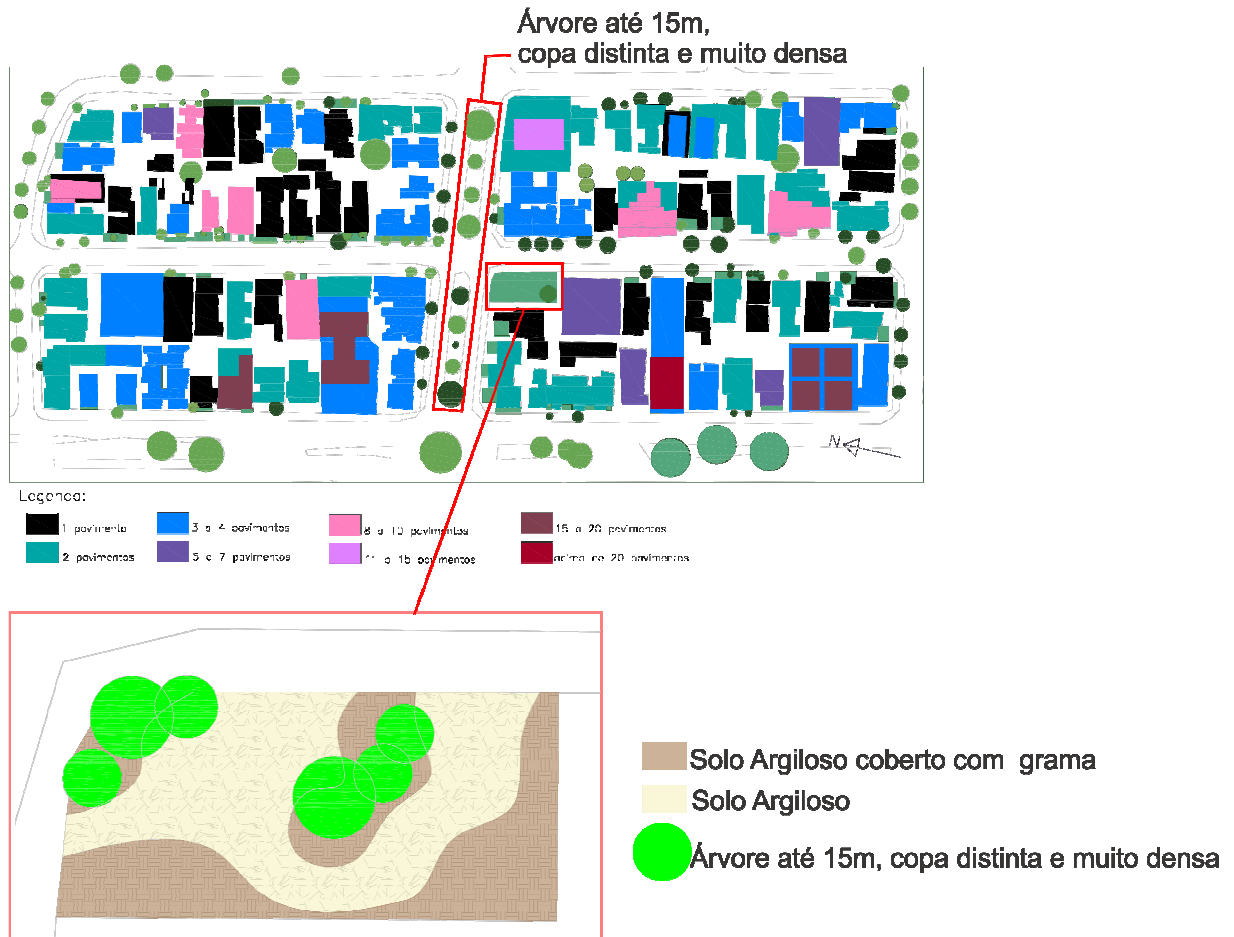


Figura 71 – Mapa de gabarito da Área Real com marcação das áreas modificadas e mosca da proposta de alteração do lote desocupado para uma praça. Fonte: Autor.

5.7.1 Simulação de Temperatura – Proposta de melhoria

A Tabela 13 seguinte apresenta os valores máximos, médios e mínimos de temperatura do ar para as simulações, considerando-se a nova situação de arborização. Pode-se observar que na avaliação quantitativa da variável Temperatura, não se tem diferenças expressivas entre as duas simulações.

Tabela 13 – Temperatura do ar °C para simulações realizadas. Fonte: Autor.

| | Tmáx °C | Tmín °C | Tméd °C |
|---------------|---------|---------|---------|
| Área Real | 29,94 | 28,14 | 29,09 |
| Área Proposta | 29,95 | 28,1 | 29,03 |

Contudo, na Figura 72 consegue-se perceber uma alteração significativa para a região que sofreu o acréscimo de árvores mais densas e de tratamento básico para uma praça. Neste ponto a temperatura desce de 29.54°C para 28.92°C, cerca de 0.60°C de diferença.

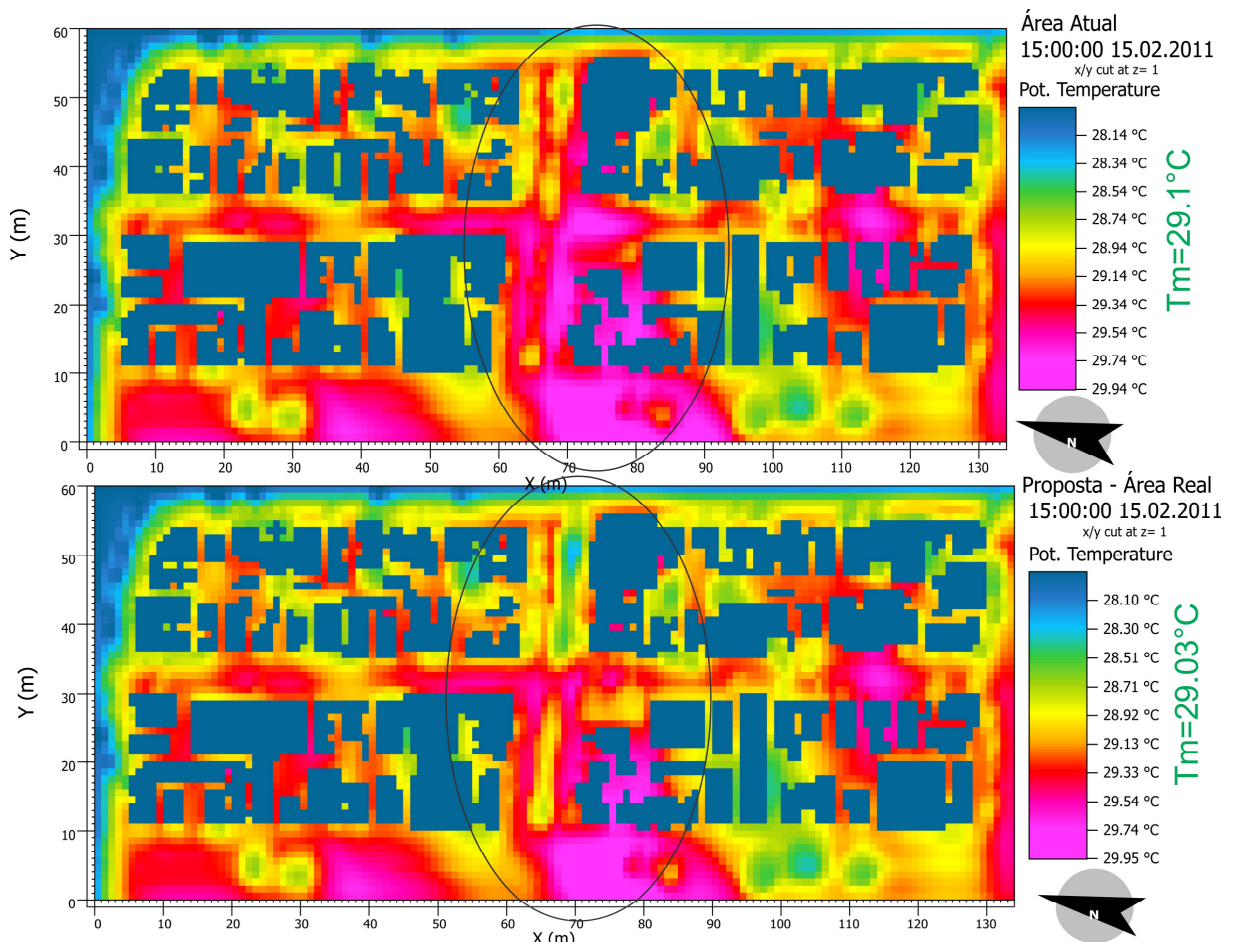


Figura 72 – Comparação entre mapas de temperatura. Área Real x Área Proposta. Fonte: ENVI-met adaptado.

5.7.2 Simulação de Umidade Relativa – Proposta de melhoria

Na Tabela 14 temos os valores máximos, médios e mínimos de umidade do ar para cada uma das simulações. Apesar de, neste caso, chegar a se ter cerca de 0.30% de diferença entre os valores médios considerados, não se pode afirmar esta diferença como sendo expressiva.

Tabela 14 – Umidade do ar (%) para simulações realizadas. Fonte: Autor.

| | UR máx% | UR mín % | UR méd % |
|---------------|---------|----------|----------|
| Área Real | 66,02 | 52,08 | 56,2 |
| Área Proposta | 66,38 | 52,23 | 56,53 |

Na Figura 73 percebe-se um aumento de umidade para a região que sofreu alteração. Em alguns pontos a umidade do ar passa de 56.73% para 60.09%, cerca de 3.36% de diferença.

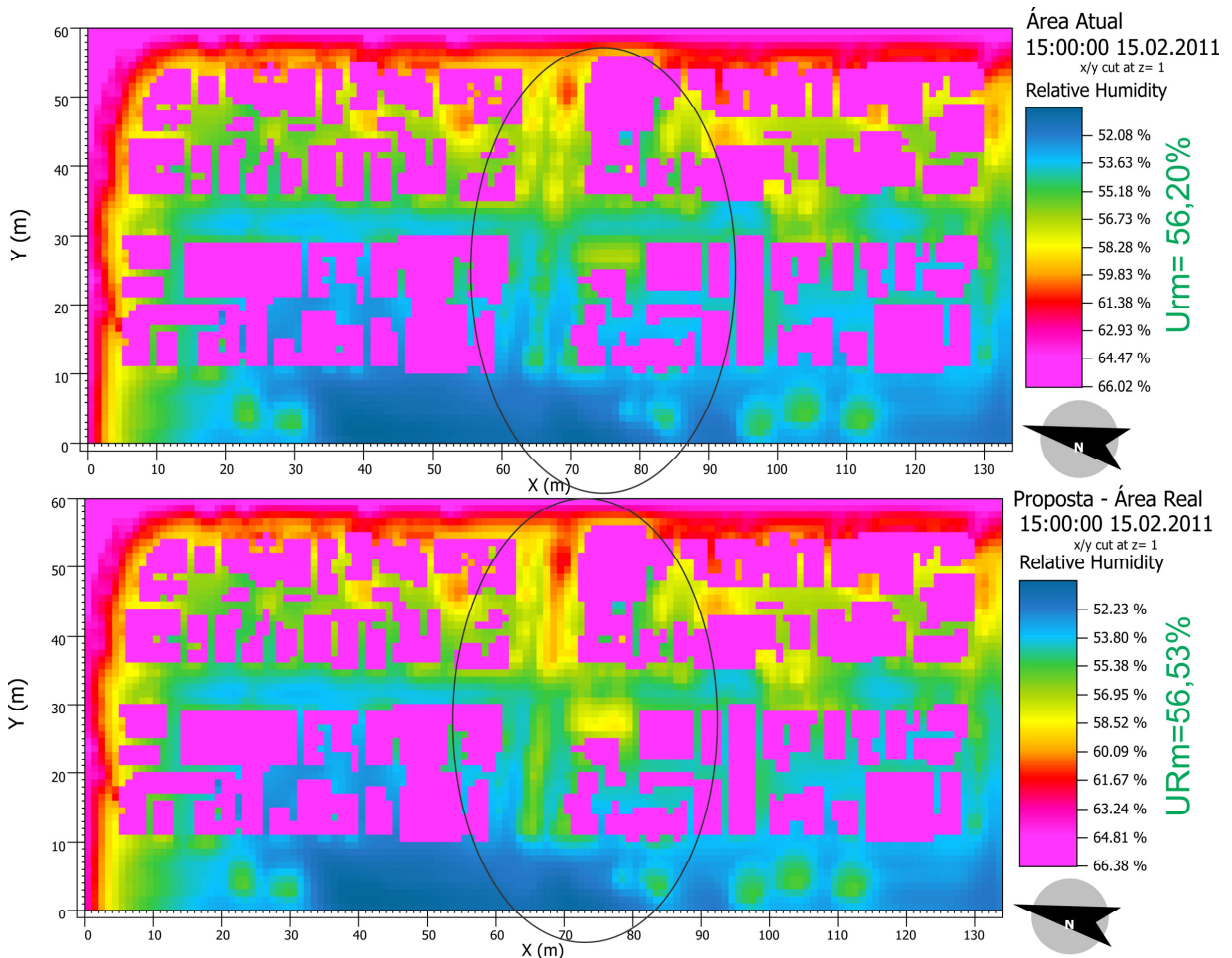


Figura 73 - Comparação entre mapas de Umidade. Área Real x Área Proposta. Fonte: ENVI-met adaptado.

5.7.3 Simulação de Ventilação – Proposta de melhoria

Na Tabela 15 nota-se que os valores máximos, médios e mínimos de velocidade do são praticamente iguais para as médias calculadas. Mesmo nos mapas da Figura 74, pouca diferença é percebida entre as duas situações, quando analisado a ventilação, percebe-se apenas a presença de sombras de vento criado pela presença de árvores mais densas no canteiro central da rua alterada.

Tabela 15 – Velocidade do ar (m/s) para simulações realizadas. Fonte: Autor.

| | Vmáx m/s | Vmín m/s | Vméd m/s |
|---------------|----------|----------|----------|
| Área Real | 2,44 | 0,24 | 1,23 |
| Área Proposta | 2,44 | 0,24 | 1,22 |

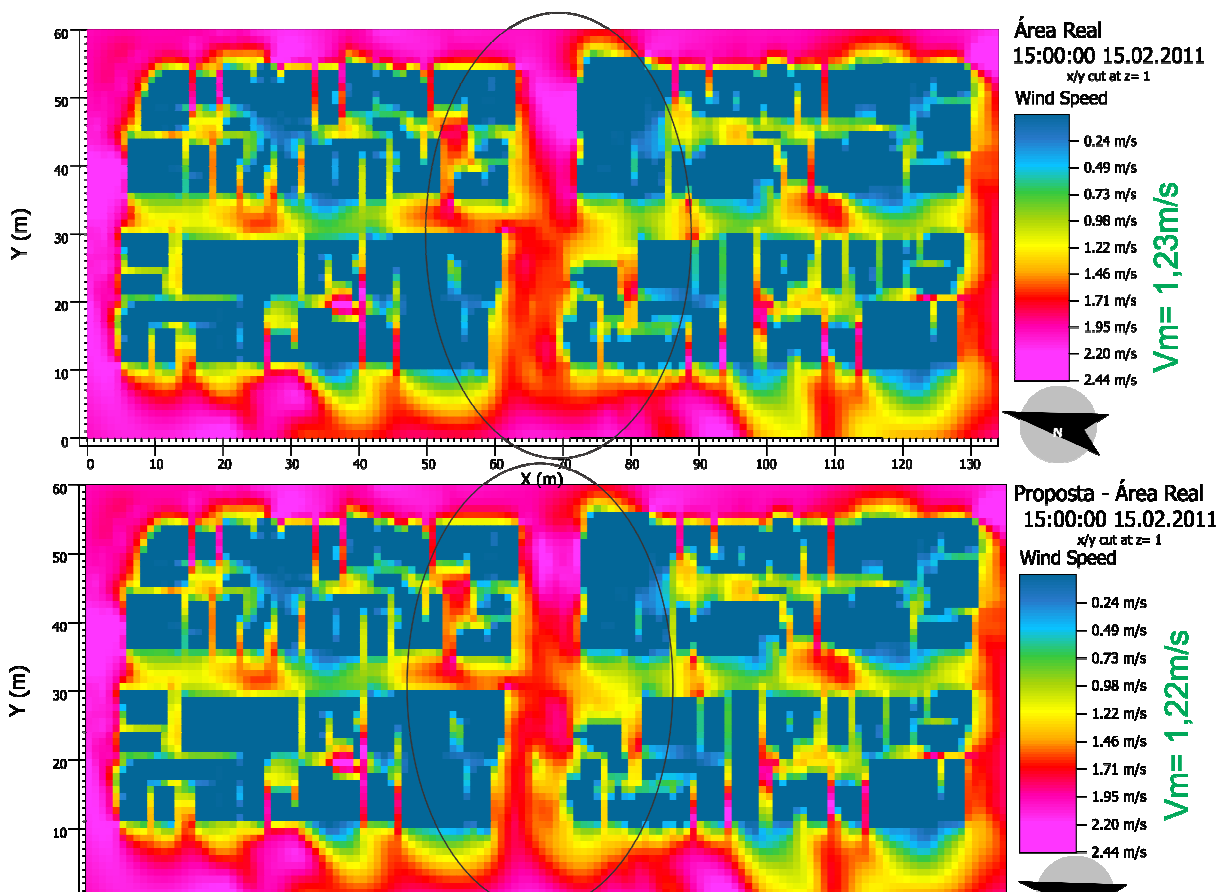


Figura 74 - Comparação entre mapas de Ventilação. Área Real x Área Proposta. Fonte: ENVI-met adaptado.

5.7.4 Simulação de PMV e PPD – Proposta de melhoria

A Tabela 16 e Tabela 17 apresentam os valores médios de PMV e PPD para cada uma das simulações. Observa-se que seus valores médios finais são bem próximos e poucos significativos, com exceção do valor mínimo de PPD encontrado que passa de 48,66% para 42,83%, cerca de 5.83% de diferença entre ambos, o que significa que em alguns pontos aproximadamente 6% de pessoas se sentem mais confortáveis no modelo da proposta do que na área real.

Tabela 16 – Índice PMV para simulações realizadas. Fonte: Autor.

| | PMV máx | PMV mín | PMV méd |
|---------------|---------|---------|---------|
| Área Real | 4,97 | 1,71 | 4 |
| Área Proposta | 4,96 | 1,6 | 3,95 |

Tabela 17 – Índice PPD (%) para simulações realizadas. Fonte: Autor.

| | PPD máx% | PPD mín % | PPD méd % |
|---------------|----------|-----------|-----------|
| Área Real | 100 | 48,66 | 96,14 |
| Área Proposta | 100 | 42,83 | 95,28 |

Na Figura 75 temos os mapas de PMV para os dois casos. Nesta figura pode-se perceber uma diferença significativa entre os pontos que antes possuíam árvores mais permeáveis e que foram substituídas por outras com copas mais densas. Em alguns pontos o PMV passa de 2.80 para 1.60, considerado pela tabela de Fanger (Figura 8) como uma mudança de “muito quente” para algo entre “levemente quente” e “quente”.

Considerando-se a adaptação dos valores para o clima de análise (ZAMBRANO, MALAFAIA, BASTOS, 2006), seria uma mudança de 1,68 para 0,96, considerado por Fanger como uma alteração entre a sensação “quente” para “levemente quente”.

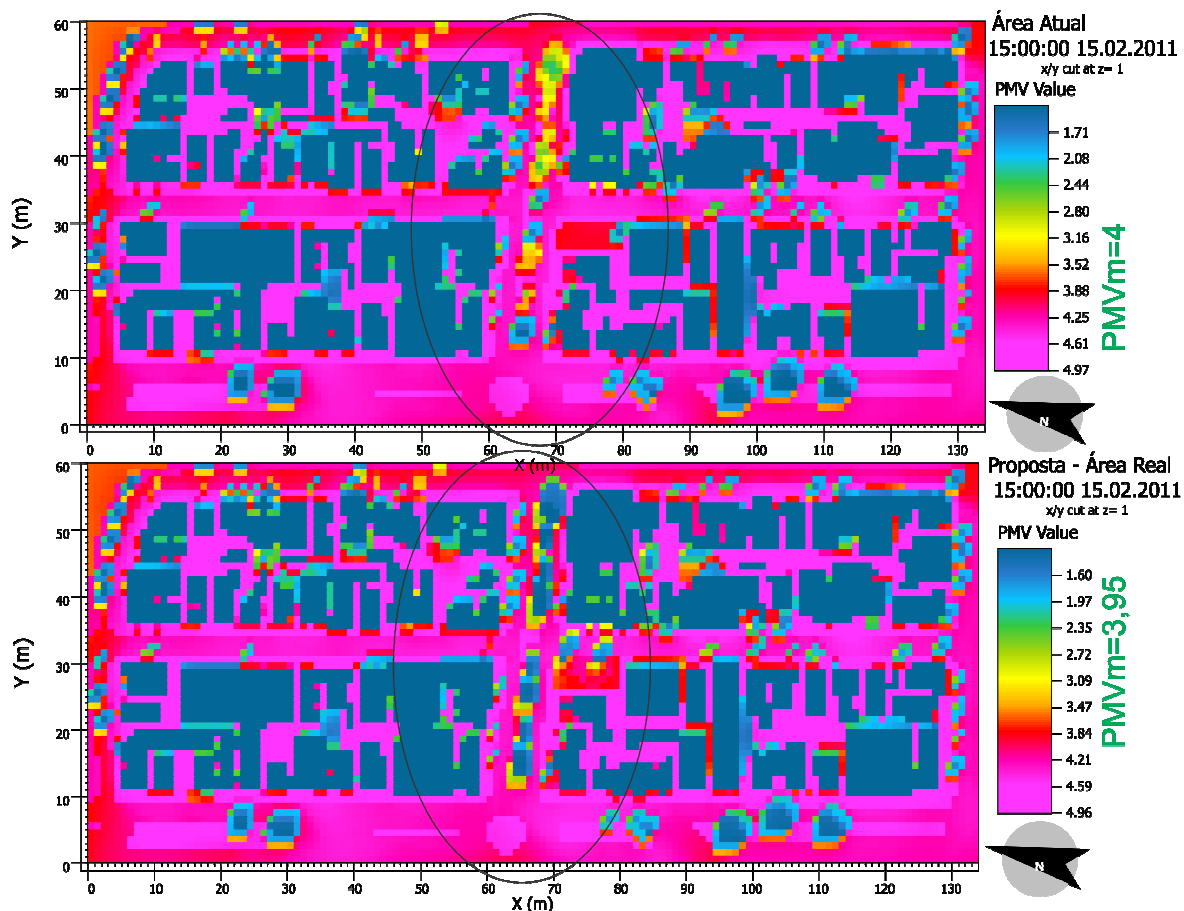


Figura 75 - Comparação entre mapas de PMV. Área Real x Área Proposta. Fonte: ENVI-met adaptado.

Na Figura 76 percebe-se uma melhora para a mesma região alterada. Esta mudança está ligada principalmente à presença de árvores mais densas. Na Figura 77, fica claro, a mudança de índice de desconforto de 100% para até 42.83% nos pontos arborizados com modelos de árvores de copas mais densas.

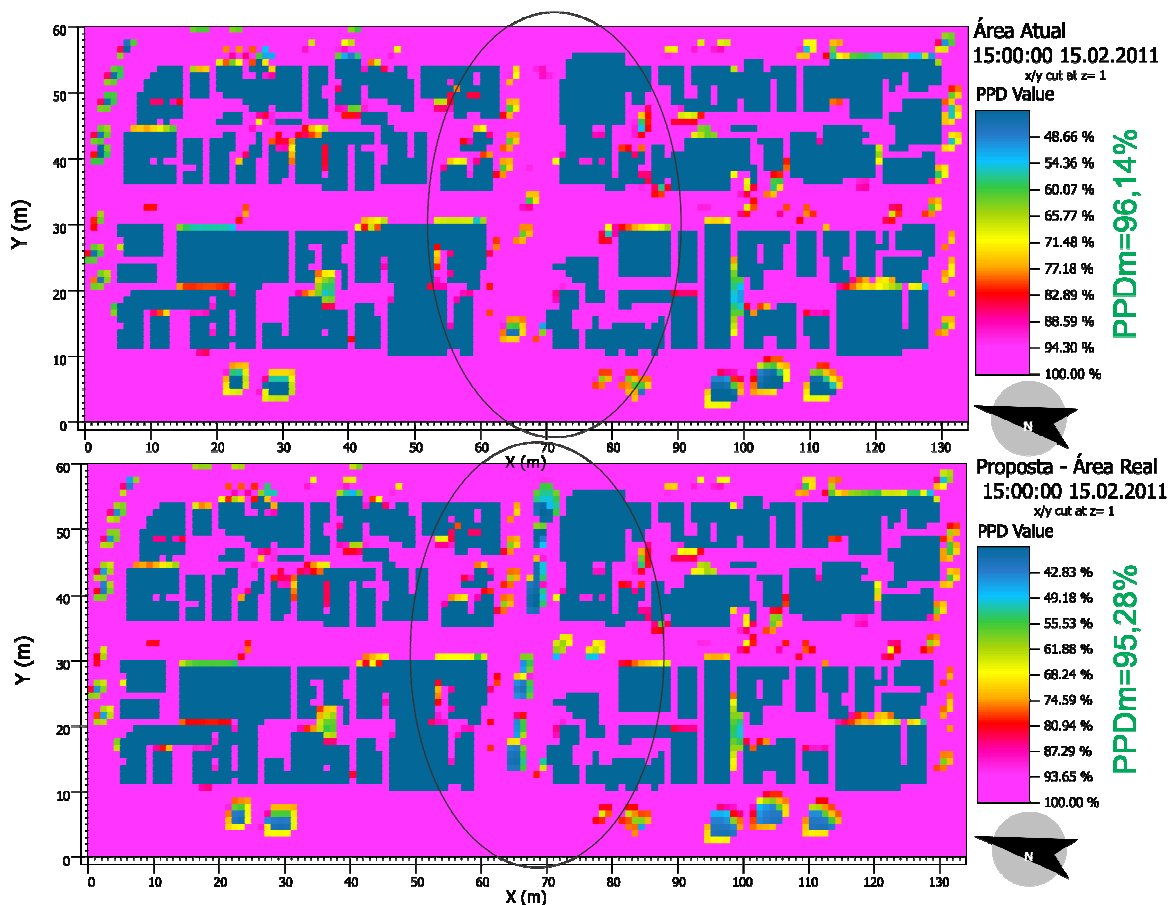


Figura 76 - Comparação entre mapas de PPD. Área Real x Área Proposta. Fonte: ENVI-met adaptado.

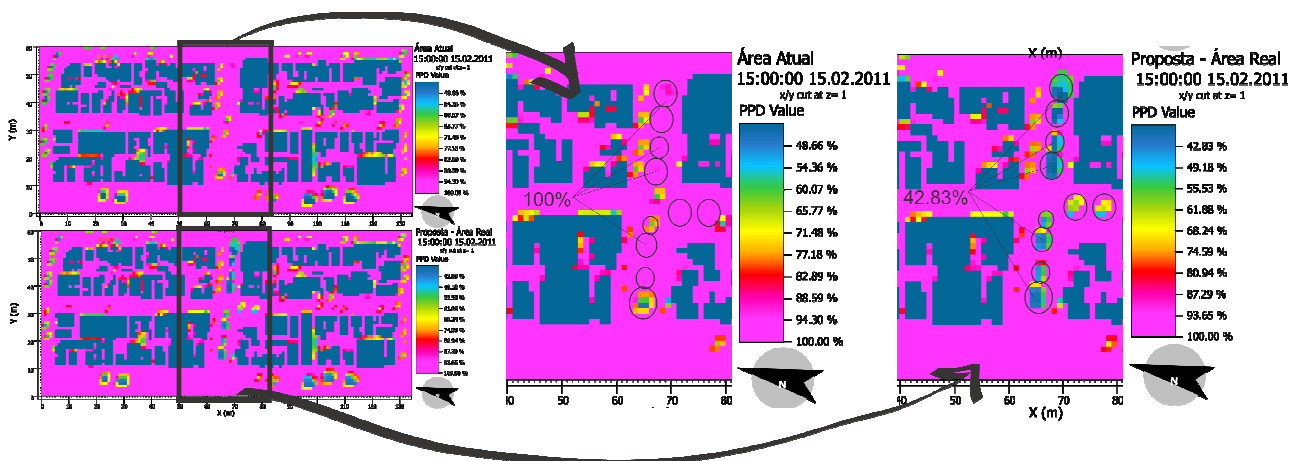


Figura 77 - Comparação entre PPD para áreas com arborização modificadas. Fonte: ENVI-met adaptado.

Na Figura 78, temos a comparação gráfica entre os resultados que demonstra que a variável de ventilação foi a que menos sofreu modificações. Além disso,

também se percebe que as alterações dos valores foram pequenas, mas notáveis, principalmente para o índice PPD.

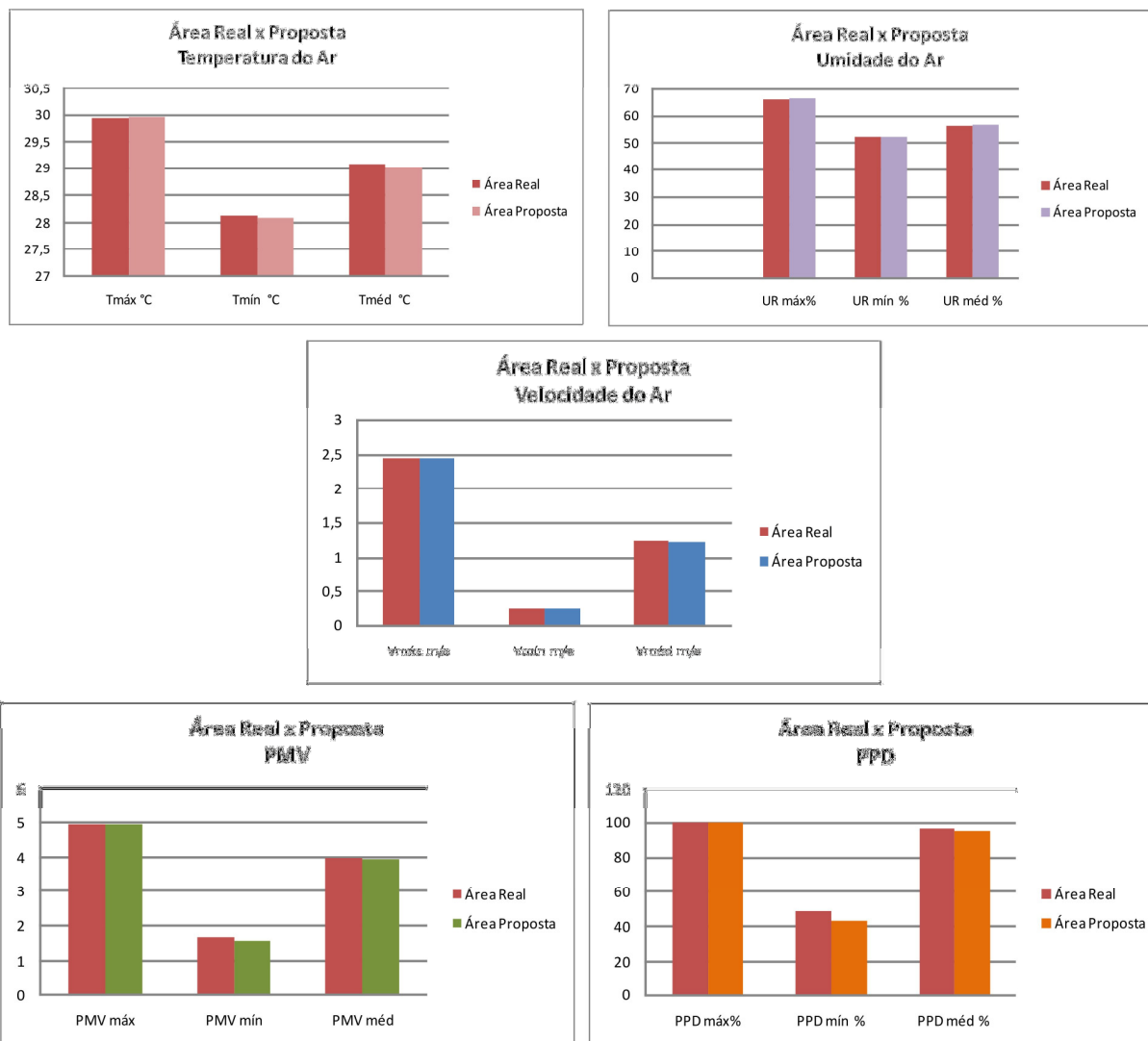


Figura 78 - Gráficos comparativos entre resultados simulados para Área Real e para sua proposta. Temperatura, Umidade, Velocidade do ar, Índice PMV e Índice PPD respectivamente. Fonte: Autor.

6 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

O trabalho apresentado teve, por objetivo, apresentar estudos quantitativos e qualitativos acerca do desempenho térmico de diferentes conformações urbanas moldadas para o máximo de ocupação do solo, permitidos pelas legislações adotadas, e ainda, compará-las ao resultado encontrado para a situação e conformação real levantada da área de estudo.

Convém ressaltar que o estudo baseou-se apenas nas análises de software relativas ao período de verão, com exame somente do horário de 15h, considerado o horário mais quente do dia pela coleta de dados em campo para o dia simulado.

Além disso, este estudo analisa apenas a circulação de ar urbana, não considerando os impactos da ventilação, ou qualquer outra variável analisada, no conforto interno ao edifício, não sendo possível afirmar se estes impactos legislativos influenciam ou não o conforto ambiental interno à edificação.

Outro aspecto relativo a desempenho de conforto ambiental urbano que não foi aplicado neste estudo, é relativo ao impacto do sombreamento dos edifícios criados, sobre as edificações vizinhas e o quanto isto influenciaria não só na resultante térmica, mas também na iluminação natural e na economia energética das construções.

Conforme mencionado no capítulo 2, e verificado pelas resultantes das simulações, configurações densas com torres são melhores ventiladas do que outras, mesmo que com baixa densidade, quando estas possuem edifícios com alturas uniformes. Isso foi observado na comparação das simulações verticais, mistas e horizontais, com resultados apresentados em ordem decrescente.

Outro aspecto confirmado pelos estudos foi a verificação de a forma horizontal é mais impactante do que a vertical, quando para uma mesma densidade construída, devido à diminuição de circulação e permeabilidade de vento.

Os resultados apresentados indicam que a baixa densidade por si não é capaz de gerar resultados confortáveis ao ser humano e ao ambiente construído. As comparações sugerem que os modelos verticais tiveram no geral, melhor desempenho térmico, devido à maior permeabilidade ao vento entre as edificações, que distribui de forma mais uniformemente a umidade do ar, resultando em menores valores térmicos e a uma maior possibilidade de se chegar à índices de conforto aceitáveis aos usuários.

Outro ponto notado no capítulo de revisão, e que foi confirmado pelo estudo apresentado, é a grande influência da presença de vegetação como garantia de controle térmico urbano, através da geração de sombras e aumento da umidade. Conclui-se que a contribuição da vegetação é efetiva para o conforto ambiental do espaço público, uma vez que são registradas diferenças de temperatura, entre áreas com copas muito permeáveis e áreas com copas densas, de até 0.6 °C nas simulações computacionais realizadas.

Vale ressaltar que esta diferença pode ser considerada significativa para a proposta realizada no estudo, pois apesar de pequenas as alterações feitas entre o pior caso e a nova proposta, que sofre inserção de praça e árvores de copas mais densas, o resultado final de índice de desconforto térmico sentido pelo usuário passaria de 100% a aproximadamente 43% de desconforto para os pontos específicos, em particular aqueles mais próximos a esta arborização.

Assim, teoricamente, seria possível melhorar os resultados encontrados para o melhor caso simulado (vertical), sendo que o mesmo não pôde ser considerado confortável de acordo com os índices finais encontrados, com medidas como aumento de espaços verdes (árvores de copas densas) e inserção de corpos d'água.

Notou-se também que mesmo para os valores corrigidos de PMV, conforme estudos de Zambrano, Malafaia e Bastos (2006), mesmo com algumas melhoras de sensação de conforto térmico, os resultados médios continuaram a ser considerados “muito quentes” ou “quentes” de acordo com as situações encontradas, ou seja, mesmo com as adaptações do modelo de Fanger para climas tropicais as resultantes não podem ser consideradas satisfatórias.

Pode-se concluir que o aumento dos afastamentos entre as edificações, assim como o aumento de áreas verdes e espécies de copas densas, pode trazer benefícios ao conforto higrotérmico final de uma área urbana. Árvores de copas altas e largas são as mais indicadas, para o caso de estudo, por proporcionar sombra e permitir a ventilação no nível do corpo. Deve-se ter o cuidado na escolha das espécies quanto à fatores tais como conformação das raízes, tolerância à poda e ao transplante e altura máxima alcançada na idade adulta.

Convém destacar que apesar de verificar que a densificação por si só não é um ponto negativo ao conforto urbano, é necessário que a densidade aplicada a cada caso seja estudada e ajustada ao conjunto urbano onde for inserida, de modo

a não sobrecarregar o sistema viário, infra-estrutura e demais agentes urbanos. O objetivo deve ser uma configuração urbana que una, de maneira eficiente, o uso da terra e o desenvolvimento da cidade.

Propõem-se, assim, modelos de ocupação urbanos adequados as condições de conforto higrotérmico de cada região, de modo a valorizar a ventilação urbana, fazendo uso de áreas verdes e corpos d'água, além de adequar a densidade suportada pela infra-estrutura urbana pré-existente.

O planejamento de áreas residenciais urbanas de alta densidade é possível e requer atenção especial aos serviços urbanos, como comércio e lazer. É preciso buscar equilíbrio entre espaços livres e construídos, avaliando dentre várias possibilidades e arranjos espaciais a que conseguirá resultar em um meio ambiente urbano agradável, com a máxima ocupação do solo possível e ainda assim, sustentável.

Considerando-se que para algumas cidades a verticalização é irreversível, o uso apropriado dos parâmetros citados pode fazer com que o conforto térmico possa ser garantido, ou ao menos que o desconforto térmico possa ser amenizado.

Duarte e Serra (2003) apontam que em Curitiba a verticalização é usada como meio de inserção de áreas verdes e de parques, na cidade. Contudo, esta inserção é garantida pela revisão da lei urbana da cidade que assegurou maiores afastamentos entre as edificações, melhorando as condições de insolação e ventilação em regiões altamente adensadas. Este é um ponto importante e que deveria ser aplicado ao caso de Juiz de Fora.

Os resultados apresentados neste trabalho corroboram estudos como de Duarte e Serra (2003) e Duany, Speck e Lydon (2010), que afirmam que a verticalização aliada a densificação pode reduzir deslocamentos e consumos de energia, e quando feita associada ao aumento de área verde e corpos d'água, pode gerar oásis urbanos. Isso porque, pode mitigar efeitos negativos da urbanização, a redução de deslocamentos diminui as emissões que contribuem para a poluição do ar, além de diminuir os custos com infra-estrutura e transportes.

A verticalização em si também apresenta vantagens e desvantagens do ponto de vista climático e social, sendo assim a adesão deste pensamento deve estar profundamente arraigado nos princípios de sustentabilidade e bioclimatismo, de modo a gerir verticalização, densidade e conforto de modo equilibrado. Dentre as vantagens do ponto de vista social, pode-se citar a facilidade de acesso entre

consumidores e serviços, gerando maior vitalidade urbana, controle social e acessibilidade a emprego, resultando em aumento de receitas e economia, além de fazer uso eficiente da terra e da infra-estrutura. No aspecto climático, pode-se tirar proveito das sombras longas e da turbulência de ventos nos arredores. Os andares mais altos ficam expostos a maiores velocidades de vento e a temperaturas mais baixas do que no nível da rua, assim como ficam menos sujeitos à poluição sonora e atmosférica. Dependendo da orientação, podem canalizar as correntes de vento, fazendo com que estes cheguem às áreas menos ventiladas da cidade; também ajudam a dispersar a poluição nas ruas em razão da turbulência criada nos níveis inferiores. Permitem a coleta de água da chuva mais limpa, acima da camada de poluição e facilitam o aproveitamento de energia solar e a geração de energia eólica, com a captação dos ventos nos níveis mais altos.

Como desvantagem principal do ponto de vista climático tem-se a maior dificuldade de resfriamento noturno no nível da rua (ligado ao fator de visão de céu), além disso, como já foi dito, as longas sombras podem impedir o acesso de sol e reduzir o aproveitamento da iluminação natural. Edifícios altos também envolvem dispêndio de energia para transporte vertical e maior calor gerado pela iluminação artificial e para condicionamento ativo, seja por aquecimento ou refrigeração. No aspecto social, quando não há incentivo por parte do poder público quanto à busca de soluções ao transporte urbano, pode resultar em congestionamentos, aumento de poluição, sobrecarga de infra-estrutura e aumento da criminalidade.

Vale ressaltar que este estudo trabalhou especificamente com a análise de conforto externa à edificação, e, portanto relativa ao aspecto urbano. Não se podendo afirmar que a verticalização é a solução mais adequada aos problemas das cidades atuais. O estudo apontou que a verticalização trouxe melhores resultados de conforto urbano agregado a uma possível densificação, para a área de estudo analisada, em específico, não se sabendo quais os impactos desta configuração para o conforto interno ao edifício, assim como para os resultados de ventilação e insolação internos consequentes da verticalização modelada para o estudo de caso.

Na proposta apresentada para o pior caso, puderam-se confirmar pontos afirmados por Duany, Speck e Lydon (2010), que apontam que o levantamento das áreas públicas ainda desocupadas, e com viabilidade para a criação de áreas verdes, pode abrir novas possibilidades para a criação de espaços importantes para a melhoria das condições de conforto nas cidades, não só do ponto de vista físico,

mas também psicológico. O planejamento de futuras intervenções nesse sentido torna-se urgente, evitando, num futuro próximo, a necessidade de intervenções mais drásticas à custa de desapropriações e conflitos.

Contudo, pode-se afirmar, assim como dito por Breheny, Gurney e Strike (1996), que a dificuldade se encontra no fato de, embora muito possa ser feito para atrair e incentivar as pessoas a viver em área de maiores densidade, haverá muitas questões de interesse público que serão profundamente impopulares, mas de extrema importância, como políticas para restringir uso de carros, remoção de obstáculos à alta densidade e de desenvolvimento de uso misto, liberação de terrenos para desenvolvimento e também o investimento em transportes públicos.

Outras ações urbanas são capazes não só de regenerar e revitalizar áreas urbanas abandonadas, como pode melhorar a convivência entre os usuários, gerar ambientes mais agradáveis termicamente, psicologicamente e visualmente. Alguns exemplos podem ser encontrados no livro de Duany, Speck e Lydon (2010), que indicam que o uso misto de serviços deve ser incentivado pelos órgãos públicos em cada bairro da urbe, dispersando a pressão existente na área central da cidade ao criar diversos pólos atrativos que alimentem sua própria porção de habitantes.

Alguns desdobramentos desta análise podem dar prosseguimento ao estudo iniciado nesta dissertação. Como um possível aprofundamento, pode-se citar pesquisas que busquem a avaliação do impacto do crescimento urbano na temática interna à edificação, com abordagem térmica, lumínica e de cunho em eficiência energética.

Nesses novos estudos, outras ferramentas poderão ser utilizadas, sobretudo poderão ser utilizadas as diversas potencialidades do software ENVI-met com a simulação de outros parâmetros como temperatura superficial e demais rearranjos urbanos.

Por fim, vê-se que constitui preocupação dos arquitetos e urbanistas a busca de soluções concretas para amenizar os problemas relacionados ao conforto ambiental, contribuindo, assim, para um cenário com mais vegetação e com uma significativa melhoria de qualidade no conforto térmico nas zonas urbanas.

REFERÊNCIAS

- ALI-TOUDERT, F; MAYER, H. **Effects of asymmetry, galleries, overhanging façades and vegetation on thermal comfort in urban street canyons**. Solar Energy 81 (2007) Nr6. P 742 – 754. Disponível em: www.sciencedirect.com. Acesso em: Jul. 2010.
- AMARANTE, O. A. C; BROWER, M.; ZACK, J.; SÁ, A. L. de. **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**. Brasília, 2001. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/Atlas%20do%20Potencial%20Eolico%20Brasileiro.pdf Acesso em: Dez, 2011.
- ASSIS, E. S. de. Aplicações Da Climatologia Urbana No Planejamento Da Cidade: Revisão Dos Estudos Brasileiros. **Revista de Urbanismo e Arquitetura**, Vol. 7,Nº 1. 2006. Disponível em: <http://www.portalseer.ufba.br/index.php/rua/issue/view/352>, Acesso em fev, 2011.
- ASSIS, E. S. de. Métodos preditivos da Climatologia como subsídios ao planejamento urbano: aplicação em conforto térmico. **Revista: Terra Livre**, n. 20, 2003, p. 145-158
- ASSIS, E. S. de; FERREIRA, D. G. A relação entre ocupação urbana e a circulação dos ventos: uma contribuição para o planejamento. **Revista: Fórum Patrimônio**. Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável. Vol. 1 , No. 1 (2007) Disponível em: <http://www.forumpatrimonio.com.br/print.php?articleID=134&modo=1> Acesso em: 13 de jan. 2011.
- ASSIS, E. S. de; FERREIRA, D. G.; SILVEIRA, S. Q. da. In: Seminário Internacional NUTAU 2006: Inovações Tecnológicas e Sustentabilidade. **Anais....** São Paulo. CD-ROM.
- BARBIRATO, G. M.; SOUZA, L. C. L; TORRES, S.C. **Clima e Cidade: A abordagem climática como subsidio para estudos urbanos**. Maceió – AL: Ed. UFAL, 2007
- BITTENCOURT, L. **Uso das cartas solares: diretrizes para arquitetos**. 4ª Edição rev. e ampl. Maceio: EDUFAL, 2004.109p.
- BITTENCOURT, L.; CÂNDIDO, C. **Introdução à ventilação natural**. 3ª edição. Maceio: EDUFAL, 2008. 173p.
- BREHENY, M.; GURNEY, A.; STRIKE, J. **The Compact City and the Need to Travel**. [S.l.]: The Taylor & Francis e-Library, 2005.
- BRUSE, M. **Anwendung von mikroskaligen Simulations modellen in der Stadtplanung**. In: Bernhard, 2000. L. und Küger T. (Hrsg.): Simulation raumbezogener Prozesse: Methoden und Anwendung, If GIprints 9, Inst. f. Geoinformatik, Univ. Münster, Münster. 21 pag.
- BRUSE, M. **Envi-Met 3.5 updated 2011**. Disponível em <http://www.envi-met.com>. Acesso: 07/02/2011.
- BRUSE, M. **Updated overview over ENVI-met 3.0.** Disponível em <http://www.envi-met.com>. Acesso: 07/02/2010
- CARFAN, A. C.; GALVANI, E.; NERY, J. T. Calibração do modelo envi - met: Estudo do clima urbano de Ourinhos, SP. In: XIII SBGFA - XIII Simpósio Brasileiro de Geografia e Física Aplicada 2008: Clima e Planejamento Urbano/Rural. **Anais...** Universidade Federal de Viçosa, MG. Disponível Em: http://www.geo.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos_completos/eixo8/002.pdf . Acesso: jul., 2010.
- CASTRO, E.B.P. **Método de Auxílio à Concepção Arquitetônica Baseado na Análise Multicritério e em Dados Simulados da Edificação**. Tese (Doutorado) – UFRJ. Rio de Janeiro, 2005.

CASTRO, L.L. F. de L. **Estudo de parâmetros de conforto térmico em áreas verdes inseridas no ambiente urbano**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual De Campinas, Faculdade de Engenharia Civil. Campinas, SP, 1999.

CHATZIDIMITRIOU, A.; YANNAS, S. **Microclimatic Studies of Urban Open Spaces in Northern Greece**. In: Plea 2004. The 21st Conference on Passive and Low Energy Architecture. Eindhoven, The Netherlands, 19-22. In: Plea 2004. CD-ROM

CUNHA, E. G da. (Org.) **Elementos de arquitetura de climatização natural**. 2ª Ed. 2006. Maisquatro editora. Porto Alegre-RS. 188p.

DONAIISKY, OLIVEIRA, MENDES. Algoritmos PMV-MBPC Para Conforto Térmico Em Edificações E Aplicação Em Uma Célula-Teste. **Revista Controle & Automação**. Vol.21 no.1/Jan. e Fev. 2010 Disponível em: www.scielo.br/pdf/ca/v21n1/v21n1a01.pdf Acesso em: jul/2011

DPTAU – Departamento de Tecnologia da Arquitetura e do Urbanismo. Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura. **Curso de Introdução ao Programa ENVI-met 3.1**. Belo Horizonte, 2009.

DUANY, A.; SPECK, J.; LYDON. **The smart growth manual**. [S.l]: M. Mc Graw Hill editor, 2010.

DUARTE, D. H. S. **Padrões De Ocupação Do Solo E Microclimas Urbanos Na Região De Clima Tropical Continental**. Tese (Doutorado) Faculdade De Arquitetura E Urbanismo Universidade De São Paulo - São Paulo. São Paulo, 2000.

DUARTE, D. H. S. Variáveis Urbanísticas E Microclimas Urbanos: Modelo Empírico E Proposta De Um Indicador. **Revista: Fórum Patrimônio**. Clima Urbano e Planejamento das Cidades: vol. 3 , no. 2 (2009)

DUARTE, D. H. S; SERRA, G.G. Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos na região de clima tropical continental brasileira: correlações e proposta de um Indicador. **Revista Ambiente Construído**, ANTAC, Porto Alegre, v3, n.2, p. 7-20, abr./jun. 2003.

GALMARINI, S.; VINUESA, J-F.; MARTILLI, A. **Relating Small-Scale Emission and Concentration Variability in Air Quality Models**. Enhancing Mesoscale Meteorological Modelling Capabilities For Air Pollution And Dispersion Applications - COST Action 728 (2008)., Chapter 1./1.2, P14.

GONÇALVES, C. E. C. **Ruas Confortáveis, Ruas com Vida**. Proposição de diretrizes de desenho urbano bioclimático para vias públicas. Av. Juscelino Kubitschek, Palmas – TO. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Brasília – UNB, 2009.

HUTTNER, S.; BRUSE, M.; DOSTAL, P. **Using ENVI-met to simulate the impact of global warming on the microclimate in central European cities**. In: Mayer, H. and Matzarakis, A. (eds.): 5th Japanese-German Meeting on Urban Climatology (Berichte des Meteorologischen Instituts der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg Nr. 18), October 2008, pp. 307-312

IAB - Instituto dos Arquitetos do Brasil. Mais Direto. **PUBLICAÇÕES**, Juiz de Fora MG, 31 de maio de 2007. Disponível em: < <http://www.iabjf.org.br/publicacoes.php?cont=39> > Acesso em: 20 mar. 2009.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Relatório Anual do Censo Demográfico/2010: Crescimento populacional**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/default.php> e www.acesa.com/cidade/arquivo/noticias/2010/11/30-censo. Acesso em 26/02/2011.

JOHANSSON, E. **Urban Design and outdoor Thermal Comfort in Warm Climates**. Disponível em: <http://www.dissertations.se/dissertation/8790d8c80c/> Acesso em: 24 mar. 2011.

JUIZ DE FORA, MG. Câmara Municipal de Juiz de Fora. **Mensagem n°3615**, 10 de maio de 2007a. Disponível em: <<http://isal.camarajf.mg.gov.br/scripts/salpx.dll/pln?plt=MSGEX&pln=3615&pla=2007> > Acesso em: 20 mar. 2009, 19:30:00

JUIZ DE FORA, MG. Câmara Municipal de Juiz de Fora. **1ª reunião - Audiência Pública**, 19 de junho de 2007b. Disponível em: <
<http://isal.camarajf.mg.gov.br/scripts/ata.dll/ata?atad=19&atam=06&ataa=2007&atat=A&atas=1>>
 Acesso em: 20 mar. 2009, 20:00:00

JUIZ DE FORA, MG. Prefeitura de Juiz de Fora. **Legislação Urbana de Juiz de Fora: Atualizada e Comentada**. Juiz de Fora: Maio de 1997. 72p. p. 91-163.

JUIZ DE FORA, MG. Prefeitura de Juiz de Fora. **O Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano**. Lei Municipal N° 9811, 27 de junho de 2000. Disponível em: <
<http://www.pjf.mg.gov.br/pddu/index.htm>>
 Acesso em: 25 mar. 2009, 15:35:00

KRÜGER, E.L.; MINELLA, F. O.; RASIA, F. **Impact of urban geometry on outdoor thermal comfort and air quality from field measurements in Curitiba, Brasil**. In: Building and Environment, 2011. Nr 46. P 621 – 634. Disponível em: www.sciencedirect.com. Acesso em: Mar. 2011.

LabEEE, 2011. **Analysis BIO**. Disponível em:
<http://www.labee.ufsc.br/downloads/softwares/analysis-bio>. Acesso em : abril 2011.

LEDER, S. M.; PEREIRA, F. O. R.; CLARO, A. Janela do céu preferível: proposição de um parâmetro para controle de acesso à luz natural no meio urbano. In: IX ENCONTRO NACIONAL E V LATINO AMERICANO DE CONFORTO CONSTRUÍDO, 2007, Ouro Preto - MG. **Anais...** CD-ROM.

LIMA, P. R. de; KRÜGER, E. L. Políticas públicas e desenvolvimento urbano sustentável. **Revista: Desenvolvimento e Meio Ambiente**, n. 9, p. 9-21. Editora UFPR, 2004.

LOMBARDO, Magda Adelaide. **Ilha de Calor nas Metrôpoles: o Exemplo de São Paulo**. São Paulo: Hucitec, 1985. 244p.

MARCONDES, M. P.; UMAKOSHI, E. M. Ferramentas computacionais para avaliação ambiental de áreas urbanas: estudo de caso em São Paulo. In: IX Encontro Nacional e V Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído – ENCAC 2007. Ouro Preto, MG; 2007. **Anais...** CD-ROM

MASCARÓ, L. R. Luz, **Ambiência Urbana=Urban Environment**. 2ª Edição. Porto Alegre: Maisquatro editora, 2004, 1999p.

MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M. P. Índices De Conforto Térmico Em Espaços Urbanos Abertos. **Revista: Fórum do Patrimônio** - Clima Urbano e Planejamento das Cidades Vol. 3 , No. 2 (2009)

NAKATA, C.M.;SOUZA, L.C.L de; FARIA, J.R.G. de. Verificação de um modelo para simulação térmica urbana. In: X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. Natal, 2009. **Anais...** CD-ROM

ONU. **A ONU e a população mundial**. Disponível em: <http://www.onu.org.br/a-onu-em-acao/a-onu-em-acao/a-onu-e-a-populacao-mundial/> Acesso em: Dez. 2011

ONU. **Nosso Futuro Comum**. Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1991. 2ª Ed. 1991.

PEZZUTO, C. C. **Avaliação do ambiente térmico nos espaços urbanos abertos**: Estudo de caso em Campinas, SP. Tese (Doutorado). Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas, SP, 2007.

PJF (Prefeitura de Juiz de Fora – MG). Anuário Estatístico 2009. Disponível em: <
http://www.pjf.mg.gov.br/cidade/anuario_2009/index.html > Acesso em: 08 ago. 2010, 14:00:00

REZENDE, R. F.; REZENDE, V. L. F. M. A Importância das Áreas Verdes na Busca pela Sustentabilidade Urbana no Município de Juiz de Fora/MG. In: V Encontro Nacional e III Encontro Latino-Americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis - ELECS, Recife, 2009. **Anais...** CD-ROM

ROMERO, M.A. B. Desenho Da Cidade e Conforto Ambiental. **Revista RUA**, vol 7, nº1 (2006). pag 12-19

ROMERO, M. A. B.; **Arquitetura bioclimática do espaço público**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2001. 226p.

ROMERO, M. A. B.; **Princípios Bioclimáticos para o desenho urbano**. 2 ed. São Paulo: ProEditores, 2000. 128p.

RORIZ, M.; BARBUGLI, R. A. Mapeamento E Análise De Micro-Climas Urbanos. In: ECAC – COTEDI 2003, Curitiba, PR. **Anais...** CD-ROM

SCUSSEL, M. C. B.; SATTLER, M. A. Cidades em (trans)formação: impacto da verticalização e densificação na qualidade do espaço residencial. In: V Encontro Nacional e III Encontro Latino-Americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis. ELECS, Recife, 2009. **Anais...** CD-ROM

SHINZATO, P. **O Impacto da Vegetação nos microclimas urbanos**. Dissertação (Mestrado) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, FAUUSP – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009. 173p.

SILVA C. F. et al. Planejamento Urbano De Uma Área De Expansão Do Distrito Federal/Brasil, Auxiliado Por Simulação Computacional. In: Pluris 2010. - The Challenges Of Planning In A Web Wide World. 4º Congress Luso-Brasileiro Para Planejamento Urbano, Regional, Integrado, Sustentável. Universidade De Algarve, Faro, Portugal. 2010. **Anais...** Disponível em: http://pluris2010.civil.uminho.pt/congresso_actas_ID.html Acesso em: Mar. 2011

SILVA, C. F.; ROMERO, M. A. B. O desempenho ambiental de vias arborizadas na cidade de Teresina por meio de dados sensoriais, microclimáticos e simulações computacionais com o auxílio do ENVI-MET. In: X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. Natal, 2009. **Anais...** CD-ROM

SOUZA, R. B. E. A Cidade-Jardim de Ebenezer Howard e sua aproximação com os significados da sustentabilidade urbana. In: V Encontro Nacional e III Encontro Latino-Americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis. ELECS, Recife, 2009. **Anais...** CD-ROM

SOUZA, R. V. G. de; et al. Diretrizes de Conforto ambiental aplicadas na Legislação Urbana de cidades Mineiras. In: IX Encontro Nacional E V Latino Americano De Conforto Construído, 2007, Ouro Preto- MG. **Anais...** CD-ROM.

SOUZA, V. M. B. **A influência da ocupação do solo no comportamento da ventilação natural e na eficiência energética em edificações**. Estudo de caso em Goiânia – Clima Tropical de Altitude. Dissertação (Mestrado). FAU-UNB – Universidade de Brasília. Brasília – DF, 2006. 165 pg.

SPGE. Plano de desenvolvimento local de juiz de fora: Região Centro. **Prefeitura de Juiz de Fora – MG**: Secretaria de Planejamento e Gestão Estratégica (SPGE). Disponível em: < <http://www.spge.pjf.mg.gov.br/planos/plano%20local/centro.php> > Acesso em: 26 mar. 2009, 17:38:00

SPU. Base cartográfica para Região de Planejamento – Centro. **Prefeitura de Juiz de Fora – MG**: Secretaria de Política Urbana (SPU). (2009)

UFJF – UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA, MG. Laboratório de Climatologia e Análise Ambiental – **LabCAA**. Departamento de Geociências/UFJF. Dados obtidos em 2008.

UFJF - UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA, MG. Laboratório de Climatologia e Análise Ambiental – **LabCAA**. Departamento de Geociências / UFJF. Dados: 2011

UNESP – Universidade Estadual Paulista “Julio Mesquita Filho”. CEUB- Centro Virtual de Estudos Ambientais Urbanos. **Cidades Sustentáveis**. Disponível em: <http://www.rc.unesp.br/igce/ceurb/cidades%20sustentaveis.htm> . Sem Data.

UFRN - UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE. **Ventilação**. Laboratório de Conforto Ambiental Grupo de Conforto Ambiental e Eficiência Energética Departamento de Arquitetura / CT / UFRN Campus Universitário, 2008. Apostila. Disponível em: <http://www.labcon.ct.ufrn.br/?pg=arquivos-php> Acesso: Fev.2011

USA. **Universidade de Wyoming** - College of Engineering - Department of Atmospheric Science; Disponível em: <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>. Acesso em: abr. 2011.

VEIGA, J. E.da. **Desenvolvimento Sustentável: o desafio do século XXI**. Rio de Janeiro: Garamond, 2008. 3ª ed. 220p.

YOSHIDA, R. **Das Normas Em Conforto Térmico Ao Projecto De Arquitectura - Estudo De Caso Para Edifícios De Habitação - Zona Bioclimática Brasileira Z3 – Brasil**. Dissertação (Mestrado). UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA, Faculdade De Arquitectura. 2006.

ZAMBRANO, L. M. de A. CAMPELLO, M. S.; BRAGA, R. D. V.; MEDINA, R. **Considerações sobre os aspectos relacionados ao Plano de Desenvolvimento Urbano de Juiz de Fora e a Proposta de revisão do Anexo 8 da Lei N.º 6910**. 2007. Não publicado.

ZAMBRANO,L.; MALAFAIA, C.; BASTOS. **Thermal comfort evaluation in outdoor space of tropical humid climate**. The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland, September 2006.