

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA**

**INTERRELAÇÕES EXISTENTES ENTRE OS
ESCOAMENTOS DE VENTOS E OS PADRÕES DE
OCUPAÇÃO DO SOLO
NOS BAIRROS DO CABO BRANCO E TAMBAÚ/JOÃO
PESSOA - PB**

Paulo Sérgio Araújo Peregrino

**João Pessoa
Janeiro de 2005**

Paulo Sérgio Araújo Peregrino

**INTERRELAÇÕES EXISTENTES ENTRE OS ESCOAMENTOS DE
VENTOS E OS PADRÕES DE OCUPAÇÃO DO SOLO
NOS BAIRROS DO CABO BRANCO E TAMBAÚ/JOÃO PESSOA - PB**

Dissertação apresentada à Coordenação
do Mestrado em Engenharia Urbana da
Universidade Federal da Paraíba, para
fins de obtenção do título de Mestre, sob
a orientação do Prof. Dr. Francisco de
Assis Gonçalves da Silva.

João Pessoa
Janeiro de 2005

**INTERRELAÇÕES EXISTENTES ENTRE OS
ESCOAMENTOS DE VENTOS E OS PADRÕES DE
OCUPAÇÃO DO SOLO
NOS BAIRROS DO CABO BRANCO E TAMBAÚ/JOÃO
PESSOA - PB**

Paulo Sérgio Araújo Peregrino

Dissertação defendida em 31 de janeiro de 2005 e aprovada pela banca
examinadora constituída pelos professores:

Francisco de Assis Gonçalves da Silva, Dr. – (Orientador)

Marcondes Araújo Lima, Dr. – (Examinador externo)

Eduardo Rodrigues Viana de Lima, Dr. – (Examinador)

EPÍGRAFE

“How many roads must a man walk down before
you can call him a man?
How many seas must a white dove sail before
she sleeps in the sand?
And how many times must the cannonballs fly
before they've forever banned?
The answer my friend is blowing in the wind
The answer is blowing in the wind.”

Bob Dylan – Blowing in the wind

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho às mulheres da minha vida: Antônia, minha mãe; Rejane, minha esposa; Yasmin e Bárbara minhas filhas, citando-as aqui não em ordem de importância, mas simplesmente na sequência em que surgiram no meu caminho; ao meu filho e companheiro Lucca, e finalmente aquele que em seus últimos momentos aprendeu e ensinou-me que a felicidade está sempre ao nosso lado, só precisamos enxergá-la. O meu pai, Célio Peregrino.

AGRADECIMENTOS

Ao alcançar o final desta etapa tão importante na minha vida, sinto-me no dever de compartilhar esta felicidade com aqueles que tanto me assistiram no decorrer deste trajeto, a quem agora em poucas palavras agradeço.

Ao amigo e orientador professor Doutor Francisco Gonçalves (UFPB), pelos ensinamentos, apoio e acima de tudo pela confiança em mim depositada.

Ao professor Doutor Jorge A. Gil Saraiva (LNEC-Lisboa), pela gentileza de partilhar conosco parcela tão valiosa dos seus conhecimentos.

Ao professor Doutor Roberto Pimentel (UFPB), pelo apoio e incentivo dado ao nosso trabalho.

Ao amigo professor Aarão Júnior, e de forma extensiva aos companheiros do CEFET-PB, por todo o apoio.

Pela grande ajuda na confecção da maquete agradeço aos amigos Julliana e Segundo.

Agradeço ainda a Janine Holmes, pelo carinho e competência com que auxiliou na elaboração dos desenhos e diagramação do trabalho.

Ao amigo Jessé Júnior, pelo auxílio na digitalização das fotos.

Ao Doutor Gilder Nader, Paulo e todos os outros que compõem a equipe do Centro de Metrologia dos Fluidos do Instituto de Pesquisas Tecnológicas da USP.

Ao amigo Ajibola Isau Badiru, pelas consultorias em língua inglesa.

Aos amigos Homero, Silvana e Viviane pelos excelentes momentos que compartilhamos durante as nossas pesquisas.

A todos aqueles que aqui não se encontram registrados, para que saibam que não menos importantes foram para a consecução deste trabalho.

E acima de tudo a Deus, por me ter presenteado com uma família tão compreensiva.

RESUMO

O presente trabalho avalia de que forma o escoamento dos ventos se interrelaciona com os quatro padrões de ocupação do solo urbano estudados: o padrão de ocupação atual de parte dos bairros do Cabo Branco e Tambaú/João Pessoa – PB, e outros três sugeridos para a mesma área. Entre os modelos expostos, um refere-se ao adensamento da área segundo a legislação vigente, e os outros dois são relativos a outras possibilidades de adensamento vertical. Os modelos em escala reduzida, foram avaliados com base em ensaios efetuados em túnel aerodinâmico, utilizando-se da técnica de figuras de erosão de areia (JANEIRO e SARAIVA, 1980), e metodologia desenvolvida por Silva (1999), concluindo-se que os padrões induzidos pela legislação vigente poderão causar danos irreversíveis à orla da cidade de João Pessoa num futuro próximo.

Palavras-chave: padrões de ocupação do solo urbano, escoamento dos ventos (urbanos), túnel aerodinâmico.

ABSTRACT

This research aimed to evaluate how four patterns of the urban use and occupation are interrelated in the wind flow comportment, relating to different settings which were considered in: the actual occupation pattern of the areas of Cabo Branco and Tambaú in Joao Pessoa, the capital city of Paraíba State, in the same area, where the three other types were suggested and carried out, the first one relating to the actual legislation considering heavy urban density and the second other two have investigated the possibility of vertical structure for such density. By applying reduced scale modeling experiments in aerodynamic tunnels and by using the erosion –figure technique (of sand) (JANEIRO and SARAIVA, 1980), with the methodology developed by Silva (1999), analysis have reached the conclusion that the legal standard induced by the actual legislation may giving permission for irreversible loss in the urban improvement and environmental quality associated to buildings around the beach areas of the whole city in the near future.

Key-words: urban setting; (urban) wind flow; tunnel aerodynamic modeling.

LISTA DE ABREVIATURAS

CAD – Computer Aided Design

CL – Camada Limite

CLA – Camada Limite Atmosférica

CMF – Centro de Metrologia dos Fluidos

d – diâmetro dos grãos de areia (m)

EC – Equatorial Continental

EM – Equatorial Marítima

EUA – Estados Unidos da América

Fr – número de Froude

g – aceleração gravítica (m/s)

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDEME – Instituto de Desenvolvimento Municipal e Estadual da Paraíba

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

INTERPA – Instituto de Terras da Paraíba

mEa – Massa equatorial atlântica

mEc – Massa equatorial continental

mPa – Massa polar atlântica

mTa – Massa tropical atlântica

NE-E – Nordeste-Leste

NE-NO – Nordeste-Noroeste

NO – Noroeste

PC – Polar Continental

PM – Polar Marítima

PMV- Predicted Mean Vote

PPD - Predicted Percentage of Dissatisfied

Re – número de Reynolds

SE-E – Sudeste-Leste

TC – Tropical Continental

TM – Tropical Marítima

UA – Umidade Absoluta

UR – Umidade Relativa

US – Umidade de Saturação

u_{τ} – velocidade de atrito (m/s)

ν – viscosidade cinemática

ZA3 - Zona Axial da Epitácio Pessoa

ZT2 - Zona Turística 2

ZR1 - Zona Residencial 1

ρ - massa volúmica do ar (Kg/m³)

ρ_s - massa volúmica da areia

τ_w – tensão de corte na parede (Pa)

RELAÇÃO DE FIGURAS

Figura 1 -	a- Esboço do <i>layout</i> de casas em <i>Kahun</i> , Egito, por volta de 2000 A.C.;	
	b- Esboço de um plano de cidade espanhol para Buenos Aires nos tempos coloniais	
Fonte: AYNLEY et al., 1977, p. 2, 6 apud SILVA, 1999 p. 15		32
Figura 2 -	Critério de Conforto Térmico	
Fonte: PENWARDEN, 1973 apud BLANPAIN, 1995, p. 57		36
Figura 3 –	Modelo tricelular	
Fonte: SILVA, 1999, p.146		44
Figura 4 -	Camada Limite Atmosférica.	
Fonte:GANDEMER, 1976, p. 3		47
Figura 5 -	Rosa dos ventos para a cidade de João Pessoa	53
Figura 6 -	Perfis de Velocidades de Camada Limite Atmosférica	
Fonte: GANDEMER, 1976, p. 20		54
Figura 7 –	Efeito pilotis	55
Figura 8 –	Efeito de Canto	56
Figura 9 –	Efeito esteira	56
Figura 10 –	Efeito de turbilhão na base	57
Figura 11 –	Efeito Venturi	57
Figura 12 –	Efeito de barra	58
Figura 13 –	Efeito de canalização	58
Figura 14 –	Efeito de malha	59
Figura 15 –	Efeito pirâmide	59
Figura 16 –	Escalonamento na faixa dos 500 metros	63
Figura 17 –	Mapa do Nordeste	67
Figura 18 –	Vista parcial da cidade de João Pessoa	69
Figura 19 -	Regiões Bioclimáticas segundo a classificação de <i>Köppen</i>	
Fonte: Atlas do Estado da Paraíba, 1985, apud MORAES, 1999, p. 48		72
Figura 20 -	Planta da cidade de João Pessoa	73

Figura 21 – Planta da área de estudo	74
Figura 22 – Topografia da área de estudo	75
Figura 23 - Foto da área de estudo	76
Figura 24 – Planta pontos tomada de pressão CLA	83
Figura 25 - CLA – terreno sem obstáculo (E1)	86
Figura 26 - Configuração Adensamento 01 (E2)	87
Figura 27 - Configuração Adensamento 01 (E3)	88
Figura 28 - Configuração Adensamento 02 (E4)	89
Figura 29 - Configuração Adensamento 02 (E5)	90
Figura 30 - Configuração Adensamento 03 (E6)	91
Figura 31 - Configuração Adensamento 03 (E7)	92
Figura 32 - Configuração Adensamento 04 (E8)	93
Figura 33 - Configuração Adensamento 04 (E9)	94
Figura 34 – Afastamento frontal para 04 pavimentos	96
Figura 35 – Afastamento lateral para 04 pavimentos	96
Figura 36 – Afastamento frontal para 17 pavimentos	96
Figura 37 – Afastamento lateral para 17 pavimentos	97
Figura 38 – Afastamento lateral proposto para 17 pavimentos	98
Figura 39 - Adensamento 01 (E2)	106
Figura 40 - Adensamento 01 (E2)	107
Figura 41 - Adensamento 01 (E2)	108
Figura 42 - Adensamento 01 (E2)	109
Figura 43 - Adensamento 01 (E3)	111
Figura 44 - Adensamento 01 (E3)	112
Figura 45 - Adensamento 01 (E3)	113

Figura 46 - Adensamento 01 (E3)	114
Figura 47 - Adensamento 02 (E4)	116
Figura 48 - Adensamento 02 (E4)	117
Figura 49 - Adensamento 02 (E4)	118
Figura 50 - Adensamento 02 (E4)	119
Figura 51 - Adensamento 02 (E5)	121
Figura 52 - Adensamento 02 (E5)	122
Figura 53 - Adensamento 02 (E5)	123
Figura 54 - Adensamento 02 (E5)	124
Figura 55 - Adensamento 03 (E6)	126
Figura 56 - Adensamento 03 (E6)	127
Figura 57 - Adensamento 03 (E6)	128
Figura 58 - Adensamento 03 (E6)	129
Figura 59 - Adensamento 03 (E7)	131
Figura 60 - Adensamento 03 (E7)	132
Figura 61 - Adensamento 03 (E7)	133
Figura 62 - Adensamento 03 (E7)	134
Figura 63 - Adensamento 04 (E8)	136
Figura 64 - Adensamento 04 (E8)	137
Figura 65 - Adensamento 04 (E8)	138
Figura 66 - Adensamento 04 (E8)	139
Figura 67 - Adensamento 04 (E9)	141
Figura 68 - Adensamento 04 (E9)	142
Figura 69 - Adensamento 04 (E9)	143
Figura 70 - Adensamento 04 (E9)	144

RELAÇÃO DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Rugosidades e coeficientes de atrito para vários tipos de terreno Fonte:SARAIVA,1983,p.86	49
Gráfico 2 – Insolação e nebulosidade em João Pessoa	70
Gráfico 3 – Evaporação e umidade em João Pessoa	70
Gráfico 4 – Temperatura média em João Pessoa	71
Gráfico 5 – Camada Limite – terreno sem obstáculo	100
Gráfico 6 – Adensamento 01 - perfis de velocidade	101
Gráfico 7 – Adensamento 02 - perfis de velocidade	101
Gráfico 8 – Adensamento 03 - perfis de velocidade	102
Gráfico 9 – Adensamento 04 - perfis de velocidade	103
Gráfico 10 – Comparação entre áreas não erodidas (rumo 90°)	149
Gráfico 11 – Comparação entre áreas não erodidas (rumo 150°)	150

RELAÇÃO DE QUADROS

Quadro 1 – Relação entre clima e urbanização

Fonte: adaptado de MONTEIRO, 1976 _____ 40

Quadro 2 – Tipos e Características das massas de ar _____ 46

Quadro 3 - Dados característicos do Bioclima 3dth

Fonte: Atlas do Estado da Paraíba, 1985 _____ 71

Quadro 4 – Características do Túnel Aerodinâmico do IPT _____ 81

RELAÇÃO DE TABELAS

Tabela 1 – Modificação dos elementos do clima no meio urbano em relação ao meio rural

Fonte: SCHMALTZ, 1984, p.103 apud SILVA, 1999, p. 7 _____ 25

Tabela 2 - Mudanças médias em características climáticas causadas pela urbanização

Fonte: MOTA, 1999, p.34 _____ 26

Tabela 3 – Comparação de características meteorológicas dos meios urbano e rural

Fonte: MOTA, 1999, p. 34 _____ 26

Tabela 4 – Preferências térmicas _____ 31

Tabela 5 - Critério de conforto

Fonte: SILVA, 1999, p.19 _____ 35

Tabela 6 - Tentativa de critério de conforto para ventilação

Fonte: DAVENPORT apud BLANPAIN, 1995, p. 56 _____ 35

Tabela 7 - Relação entre o número de *Beaufort* e a velocidade do vento (m/s)

Fonte: DAVENPORT apud BLANPAIN, 1995, p. 56 _____ 36

Tabela 8 – Valores para k e Z_0

Fonte: GANDEMER e GUYOT, 1981 _____ 49

Tabela 9 – Parâmetros de avaliação velocidade do vento x fenômenos observados

Fonte: GANDEMER e GUYOT, 1976 _____ 51

Tabela 10 – Dados sobre a área de estudo _____ 74

SUMÁRIO

Epígrafe

Dedicatória

Agradecimentos

Resumo

Abstract

Lista de abreviaturas

Relação de Figuras

Relação de Gráficos

Relação de Quadros

Relação de Tabelas

INTRODUÇÃO	18
Discussão sobre o tema	18
Objetivos	20
Justificativas	21
Contribuição da pesquisa	21
1. ESTUDOS ANTERIORES	23
2. REFERENCIAL TEÓRICO	37
2.1 Clima	37
2.2 Atmosfera	42
2.3 Circulação atmosférica	43
2.3.1 As massas de ar	45
2.3.2 A camada limite atmosférica	47
2.3.3 Ventos (escalas de estudo)	50
2.3.4 Formação dos ventos – em escala nacional	51

2.3.5 Formação dos ventos – em escala regional	52
2.3.6 Formação dos ventos – em escala urbana	53
2.4 Disciplinamento do uso e ocupação do solo	60
2.4.1 Diretrizes urbanísticas locais	62
3. METODOLOGIA	65
4. UNIVERSO DE ANÁLISE	67
4.1 Delimitação do Universo de Análise	73
5. EXPERIMENTOS EM TÚNEL AERODINÂMICO	77
5.1 Técnica de Erosão de Areia (saltação de grãos)	79
5.2 Configurações de ocupação do solo	80
5.2.1 Características dos adensamentos	83
5.2.2 Estudo dos afastamentos	95
6. RESULTADOS EXPERIMENTAIS	99
6.1 Perfis de Camada Limite Atmosférica	99
6.2 Figuras de Erosão	103
7. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	146
7.1 Perfis de velocidade	146
7.2 Figuras de erosão	147
7.2.1 Figuras de erosão 90°	147
7.2.2 Figuras de erosão 150°	149
8. CONCLUSÕES	151
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	153
10. ANEXOS	156

INTRODUÇÃO

DISCUSSÃO SOBRE O TEMA

A natureza possui no seu ciclo habitual um grande poder de auto-regeneração. É notório que, entre outros, diversos animais provocam alterações ambientais no momento em que buscam alimentos, constroem abrigos ou ainda quando expelem os seus detritos; porém, tais alterações conseguem se inserir nos padrões de tempo que a natureza requer para se recuperar de forma normal. No ambiente urbano porém, o homem e as suas atividades não respeitam este tempo e via de regra, implementam ações rápidas e quase sempre intensas que na maioria das vezes ocasionam modificações prejudiciais para o ambiente e para si próprio.

A manutenção de condições mínimas de ventilação tornou-se uma preocupação crescente nos grandes aglomerados urbanos, cuja tendência ao adensamento, à verticalização e a expansão desordenada, fatalmente conduz ao comprometimento das condições de ventilação das suas habitações. A explosão demográfica ocasionada pela busca de melhores condições de trabalho, saúde e educação, ocasionou o inchamento dos centros urbanos. Segundo Sachs (1986), em 1800 apenas 3% da população mundial vivia nas cidades. A Organização das Nações Unidas, estimou que no século XXI cerca de 80% da população mundial estaria nas cidades.

Ao tratar a cidade como uma “ilha”, ou ainda, como um corpo estranho à natureza que a circunda e da qual passa a fazer parte, o homem ao agir sobre ela de forma agressiva, inequivocamente sofrerá com as suas reações.

Tais reações são percebidas sob forma de alterações nos diversos componentes urbanos que influenciam e/ou são afetados pelos processos de urbanização, e muito freqüentemente são estudadas e avaliadas equivocadamente sem se levar em conta as suas

interrelações. É notório que as modificações promovidas pelo homem sobre o meio de forma desordenada, na maioria das vezes não obtém resultados satisfatórios:

[...] visando ao atendimento às exigências que lhe são inerentes, o homem transforma o espaço, na medida que o ocupa, impondo-lhes novos arranjos físicos, onde as estruturas ambientais naturais e as por ele criadas influenciam-se mutuamente e de modo contínuo, e atribui a cada parcela deste novo espaço uso(s) específico(s). Contudo, não necessariamente essa ocupação e a decorrente transformação do espaço físico resultam na criação de uma paisagem propícia ao desenvolvimento da vida humana [...] (SILVA, 1999, p. 2).

Segundo Mota (1999), o ambiente urbano é formado por dois sistemas intimamente inter-relacionados: O sistema natural, composto do meio físico e biológico (solo, vegetação, animais, água etc.) e o sistema antrópico, consistindo do homem e de suas atividades.

É fato que o microclima de áreas urbanas, mesmo vinculado às variáveis mesoclimáticas, possui características diferenciadas daquelas inerentes às áreas que circundam as cidades. Fatores climáticos como a radiação solar, temperatura, velocidade e direção dos ventos, camadas atmosféricas, precipitação e umidade entre outros, estão diretamente relacionados com a urbanização. Diversos fenômenos conseqüentes da concentração urbana contribuem para as variações climáticas.

A elevação da temperatura nas cidades é capaz de gerar um fenômeno denominado “ilha de calor”. A associação dos condicionantes derivados das ações antrópicas sobre o meio ambiente urbano, em termos de uso do solo e os condicionantes do meio físico e seus atributos geológicos são responsáveis diretos pela formação da ilha de calor Lombardo (1985). Ainda sobre esta, percebe-se que, quando instalada, é capaz de dificultar ou até impedir a troca de ar entre a cidade e o entorno não urbanizado, acarretando assim um processo interno viciado de circulação de ar.

Admitida a inter-relação entre a forma urbana e o clima, e as respectivas influências de um sobre o outro; e ainda entendendo que embora possuam algumas características

semelhantes, os diversos tipos de clima conhecidos possuem padrões de desempenho térmico distintos, é possível afirmar que não se deve generalizar qualquer solução urbanística.

O empirismo em ações como a determinação de índices urbanísticos, gabaritos em altura das edificações e seus afastamentos, desprezo de acidentes geográficos, são capazes de gerar diversos problemas para o ambiente urbano, tornando-o muitas vezes incompatível com as exigências humanas, comprometendo necessidades básicas inerentes ao ser humano sobretudo as de caráter olfativo, respiratório, higrotérmico e de segurança entre outras.

OBJETIVOS

Esta pesquisa tem como objetivo geral verificar a estreita relação existente entre a ocupação do solo urbano de parte das praias do Cabo Branco e de Tambaú e a variável climática vento, através da observação dos padrões de desenvolvimento dos escoamentos frente à aplicação de adensamentos de configurações físicas distintas, baseados em índices urbanísticos legais e propostos, avaliando de que forma a variável independente vento atua sobre a variável dependente ocupação do solo.

Na busca deste objetivo maior, fez-se primordial o alcance de outros objetivos, estes específicos, quais sejam :

- Investigar novas propostas de ocupação para a área objeto do estudo;
- Investigar e testar novos afastamentos entre edificações e compará-los com os constantes da legislação em vigor;
- Averiguar novos gabaritos em altura e suas conseqüências na ventilação intra-urbana;
- Provocar debates com respaldo técnico - científico sobre a ocupação da orla da cidade de João Pessoa.

JUSTIFICATIVA

No Brasil e, sobretudo na região Nordeste ainda é muito limitado o número de pesquisas relativas à ventilação intra-urbana. Poucos são os pesquisadores que se aventuram nesta área especificamente e pouco também é o interesse demonstrado pelas administrações públicas no tocante à relevância destes estudos para o planejamento do crescimento das cidades.

Obviamente sem desconsiderar a importância de outras disciplinas, que devem se inter-relacionar e complementar umas às outras no processo complexo de planejamento urbano, este trabalho foca o seu interesse no comportamento dos escoamentos dos ventos frente aos adensamentos urbanos.

Entendendo que a concentração de edificações na malha urbana não pode prescindir de respaldo científico, visto que esta é capaz de alterar as características microclimáticas, através de modificações de elementos do clima local, sobretudo o vento, a temperatura e a umidade relativa do ar, afetando diretamente as condições de conforto, segurança e salubridade do ambiente ocupado pelo homem no desempenho das suas atividades, quer seja no espaço urbano quer no interior dos edifícios, e ainda que estas alterações são advindas entre outras, das modificações de albedo e da alta taxa de impermeabilização do solo, ocasionando discrepâncias nos índices de evapo-transpiração, e causando ainda acréscimos ou decréscimos significativos nas velocidades dos ventos principalmente às cotas mais baixas, torna-se evidente a necessidade de estudos que enveredem por esta área, no intuito de contribuir para a elaboração de uma legislação eficaz e dinâmica, que evolua de forma condizente com as expectativas da cidade e do cidadão.

CONTRIBUIÇÃO DA PESQUISA

A utilização de bases científicas no planejamento da ocupação do solo urbano é um instrumento capaz de contribuir, entre outros, para a racionalização do uso da energia elétrica, minimização do surgimento de fenômenos como o das ilhas de calor, poluição do ar e alguns efeitos mecânicos indesejáveis do vento, pressupondo que a análise de dados concretos referentes aos principais fatores envolvidos na possível modificação do clima urbano permitiria a implementação de ações de cunho corretivo em ocupações já iniciadas e/ou preventivo, quando de ocupação de novas áreas urbanas. A busca de tal embasamento científico parece indubitavelmente a melhor maneira de participar de forma mais responsável e consciente no processo complexo do desenvolvimento do habitat urbano.

Desta forma os resultados desta pesquisa poderão contribuir despertando o interesse da população e das autoridades para a necessidade urgente da revisão dos códigos de Obras e Urbanismo da cidade de João Pessoa, posto que a mesma, dinâmica que é, possui hoje características notadamente divergentes daquelas por ela apresentadas à época da elaboração dos referidos instrumentos de ordenamento do espaço urbano.

Sendo assim, os resultados deste trabalho poderão ser utilizados como subsídio quando da revisão do plano diretor da cidade de João Pessoa, no tocante à legislação que trata e estabelece as condições para os gabaritos em altura e afastamentos entre as edificações. Tal revisão, tomaria então como base primordialmente parâmetros de cunho científico, como os abordados por esta pesquisa, relacionada particularmente com a variável vento.

1. ESTUDOS ANTECEDENTES

Os estudos sobre as questões ligadas ao vento e sua relação direta com o planejamento de estruturas urbanas no Brasil podem ser considerados relativamente recentes, embora as consequências da carência deste embasamento científico quando das tomadas de decisões por parte das administrações públicas se façam sentir de forma direta sobre as cidades e sua população. A abordagem da importância e interferência de elementos naturais e/ou construídos sobre a possível modificação do microclima nos espaços exteriores urbanos ou ainda como artifícios para o auxílio ao controle climático ambiental, fizeram-se presentes, entre outros, nos trabalhos de pesquisadores brasileiros como Monteiro (1976), Romero (1985), Assis (1990), Lombardo (1985) e Silva (1999).

Especificamente a respeito da variável climática vento, Silva (1999), devido à complexidade dos fenômenos meteorológicos relativos aos escoamentos atmosféricos, acredita que embora não se devendo abrir mão dos valores médios determinados pelas Normas Técnicas para o cálculo de ventilação, se faz necessário um estudo local pormenorizado, que associados aos conhecimentos mais abrangentes concorrerem para minimizar a adoção de parâmetros demasiadamente genéricos ou excessivamente específicos.

As preocupações por parte dos poderes públicos via de regra são dirigidas não às causas, mas sim aos efeitos do desequilíbrio promovido pelas ações humanas de forma desordenada ou quase sempre mal planejada sobre o ambiente natural. Sobre este aspecto, Monteiro (1975), reitera a importância da compreensão da forma como se relacionam clima e sociedade, enfatizando que o comportamento atmosférico em conjunto com outras esferas e processos da natureza organizam espaços climáticos no sentido das escalas superiores para as inferiores, enquanto o homem e suas ações o fazem na direção oposta. Desta maneira, segundo Monteiro (1976), forma-se um clima próprio, denominado então *clima urbano*,

resultante de alterações significativas nos balanços hídrico e energético da cidade, provenientes, por sua vez, do conjunto de fatores que ocorrem de forma conjunta no meio urbano.

As alterações promovidas sobre o clima em escala local amplificam os seus efeitos e se fazem notar principalmente através de manifestações ligadas ao conforto térmico, à qualidade do ar, aos impactos pluviais e ainda através de outros efeitos indesejáveis capazes de intervir de forma danosa no funcionamento da cidade, bem como prejudicar substancialmente a qualidade de vida dos seus usuários.

Assim sendo, faz-se mister conceder ao clima a importância que lhe cabe frente aos diversos componentes que influenciam e determinam os níveis de qualidade do meio urbano, assegurando respostas cada vez mais satisfatórias às ações implementadas pelo homem sobre o seu habitat, através de estudos relacionados às alterações climáticas, níveis de contaminação da atmosfera, qualidade do ar, níveis de conforto térmico, nos impactos pluviais e ainda no uso racional das mais variadas fontes de energia.

Pesquisadores como Chandler (1976) e Landsberg (1981), abordaram em seus estudos uma grande diversidade de fatores e fenômenos capazes de influenciar no clima urbano, a saber, regime de ventos e de chuvas, insolação, permeabilidade do solo, cobertura vegetal, orografia e rugosidade entre outros. De forma mais específica, relacionados à ação da variável climática vento e à forma urbana ante o conforto do ambiente, Saraiva (1995) e Silva (1999), são nomes que se destacam através da determinação de parâmetros e métodos de análise também relacionados ao controle das temperaturas e poluição.

Landsberg (1981), atribui à urbanização as alterações no balanço energético relacionadas diretamente às características da superfície urbana tais como as radiativas, as térmicas, as aerodinâmicas e as de umidade.

Diversos estudos apresentam dados comparativos atestando as variações entre os balanços energéticos de áreas rurais e áreas urbanas, entre eles o de Schmaltz (1984), que comprova diferenças bastante relevantes, mesmo consideradas as discrepâncias naturais existentes entre algumas variáveis e sua ocorrência ou intensidade nas respectivas áreas.

Tabela 1 – Modificação dos elementos do clima no meio urbano em relação ao meio rural

Parâmetros	Dimensão característica	Comparação com o meio rural
Poluição do ar	Condensação Impurezas em forma de gás	10 x mais 5 - 25 x mais
Radiação	Radiação Global Radiação UV (Inverno) Radiação UV (Verão) Duração da Insolação	15 - 20 % menos 30 % menos 5 % menos 5 - 15 % menos
Temperatura	Média anual	0,5 - 1,5 °C + alta 2 - 6 °C + alta
Velocidade do Vento	Média anual Calma Turbulência	10 - 20 %. reduzida 5 - 20 % mais elevada
Umidade Relativa	Inverno Verão	2 % menos 8 - 10 % menos
Nuvens	Cobertura Névoa (inverno) (verão)	5 - 10 % mais 100 % mais 30 % mais
Precipitações	Total pluviométrico Chuva Neve	5 - 10 % mais 10 % mais 5 % menos

Fonte: SCHMALTZ, 1984, p.103 apud SILVA, 1999, p. 7

Segundo Mota (1999), as atividades desenvolvidas no meio urbano ao gerarem maior quantidade de núcleos de condensação, são responsáveis por maiores precipitações pluviais

neste do que no meio rural. Entretanto, as áreas urbanas apresentam menores taxas de umidade relativa do que o campo. Outras características climáticas são ainda afetadas pelo fenômeno da urbanização.(Tabela 2).

Tabela 2 - Mudanças médias em características climáticas causadas pela urbanização

CARACTERÍSTICAS		COMPARAÇÃO COM O MEIO RURAL
Radiação	Global Ultravioleta (no inverno) Ultravioleta (no verão) Duração de exposição ao sol	15 a 20% menor 30% menor 5% menor 5 a 15% menor
Temperatura	Média anual Médias das mínimas no inverno	0,5 a 1,0 °C maior 1 a 2°C maior
Contaminantes	Núcleos e partículas de condensação Misturas gasosas	10 vezes maior 5 a 25 vezes maior
Velocidade do vento	Média anual Rajadas extremas Calmarias	20 a 30% menor 10 a 20% menor 5 a 20% maior
Precipitação	Total Dias com menos de 5mm Neve	5 a 10% maior 100% maior 5% menor
Nebulosidade	Cobertura Nevoeiro (no inverno) Nevoeiro (no verão)	5 a 10% maior 100% maior 30% maior
Umidade relativa	No inverno No verão	2% menor 8% menor

Fonte: MOTA, 1999, p.34

Tabela 3 – Comparação de características meteorológicas dos meios urbano e rural

CARACTERÍSTICAS	VALOR NO MEIO URBANO EM RELAÇÃO AO MEIO RURAL (EM MÉDIA)
Temperatura mínima diária	2,5°C mais alta
Umidade relativa no verão	8% menor
Movimento total do ar	25% menor
Radiação solar	15% menor
Precipitação total	10% maior
Cobertura de nuvens (todos os tipos)	10% maior
Frequência de nevoeiro (inverno)	100% maior

Fonte: MOTA, 1999, p. 34

Mota (1999), também comenta sobre os impactos das densificações urbanas sobre o ciclo hidrológico, este compreendendo os seguintes processos: Precipitação, Infiltração, Escoamento Superficial (“runoff”), Escoamento Subterrâneo, Evaporação e Evapo-Transpiração, afirmando que alterações mal planejadas nesta cadeia natural, têm como consequência o surgimento de situações que resultam em condições bastante prejudiciais para os habitantes de áreas urbanas.

Lombardo (1985), admite que a interação existente entre a estrutura urbana e a atmosfera é influenciada de forma significativa pelo aspecto tridimensional da área edificada do aglomerado urbano, resultando em diferenças de temperatura, de velocidade do vento, de umidade e de pureza do ar, entre outros, visto que as condições climáticas de uma área urbana com grandes extensões se diferenciam expressivamente daquelas ocorrentes nos espaços abertos que a circundam, repercutindo assim nos aspectos físicos urbanos, quer seja no âmbito dos edifícios ou ainda, nas áreas metropolitanas, sobre as condições climáticas locais.

Comparações entre as condições de conforto em zonas urbanas e suburbanas através de medições sobre superfícies com diferentes coberturas (pavimentos e gramados), foram efetuadas por Clark e Bach (1971). Os resultados, dependendo da hora do dia, chegaram a apresentar variações de 2 graus a 7 graus, de um local para o outro na cidade de Cincinnati, nos Estados Unidos da América (EUA).

Em estudos específicos voltados para a cidade de Salvador, Sampaio (1981), estabelece a correlação entre o uso do solo e a elevação das temperaturas no meio urbano, fazendo uso de tais correlações para o estudo da variável temperatura, dos indicadores do solo e dos fatores do meio físico. Desta maneira, dados obtidos na estação meteorológica de Ondina e outros obtidos através de levantamentos no meio urbano e em áreas livres, apresentam diferenças expressivas e afirmam a relação de intensificação da presença do fenômeno da ilha de calor como decorrência da urbanização.

Tarifa (1977), encontrou valores bastante divergentes entre campo e cidade em análise feita em São José dos Campos, detectando umidades relativas com valores reduzidos na média diária (de 2 a 12%) para a área urbana em relação à área rural. Quanto à temperatura, esta mostrou-se mais elevada na zona urbana (de 1 grau a 3,4 graus) do que na área rural.

Katzschner et al. (1995) observaram uma ilha de calor em Portugal (no centro da cidade de Bragança), em um dia de verão, assim como um máximo secundário nos locais com altitudes mais elevadas, onde é mais alta a radiação global.

Lombardo (1985), faz uso de imagens termais de satélite meteorológico combinadas com dados terrestres para a verificação da ocorrência de ilha de calor na cidade de São Paulo. Este estudo relata diferenças de temperatura acima dos 10°C entre a área rural e o centro desta metrópole, relacionando ainda a ilha de calor à concentração de poluentes, sobretudo nos locais onde se apresentaram temperaturas mais altas.

Ribeiro (1993), cita a relevância da correlação e evidencia os efeitos advindos das características morfológicas urbanas sobre os padrões de vento locais no que concerne ao controle de poluentes.

O conforto térmico enquanto definição, se mostra envolto em subjetividades, tanto que diversos autores buscam formas de explicitá-lo e são unânimes em afirmar que a grande dificuldade em consegui-lo reside no fato de que as sensações humanas não são passíveis de quantificação direta, simples e sem discordâncias. Assim sendo, a sua sistematização não deve considerar aspectos generalistas que desprezem fatores de influência como adaptação ao meio ambiente, tipo de atividade desenvolvida e nível de vida, por exemplo.

Conforto térmico é assim, um estado de espírito que reflete a satisfação com o ambiente térmico que envolve o usuário (CARVALHO, 2001, p.40).

Os irmãos Olgyay, nos EUA, já no ano de 1950 iniciam a sua busca para determinar a relação entre as condições climáticas e o conforto térmico nos edifícios que culmina com a

criação da primeira carta bioclimática. Esta sob a forma de um diagrama termo-higrotérmico que apresentava as necessidades de conforto para habitantes dos EUA, com vestuário caseiro e atividades ligeiramente sedentárias (OLGYAY, 1973). Visto que a carta de Olgyay refere-se a locais com altitudes menores que 300 m e latitudes de 40°, Patrício et al. (1997) advertem para a necessidade de correção dos valores da temperatura, na medida que ocorre a diminuição da latitude, na relação de 0,5°C para cada 4° de latitude.

Segundo Araújo (1996), apud Carvalho (2001), a carta de Olgyay indica ainda a necessidade de ventilação, sombreamento e radiação solar para o alcance do conforto térmico.

Percebendo que o comportamento térmico no interior das edificações acompanhava de forma muito próxima as variações ocorridas no exterior, Olgyay estendeu a carta, antes utilizada apenas para os espaços exteriores para a aplicação na avaliação do conforto térmico nos espaços internos.

Evidentemente diversos outros estudos se seguiram, na busca de subsídios para a determinação do conforto. De maneira marcante, Givoni (1976) aperfeiçoou a carta de Olgyay, por perceber que em decorrência da inércia térmica da envolvente da edificação, poderiam ocorrer diferenças consideráveis entre as temperaturas exteriores e interiores, ocasionando modificações nas temperaturas dos ambientes internos.

Fanger (1972), relaciona além da temperatura do ar outros cinco parâmetros, como fatores de interferência para o conforto, desenvolvendo então uma equação de conforto que, segundo o seu modelo, estabelece que quando qualquer combinação dessas seis variáveis (temperatura do ar, temperatura média radiante, velocidade do ar, umidade relativa, nível de atividade e resistência térmica do vestuário) atender às condições de conforto térmico, a maior parte das pessoas se encontrará em neutralidade térmica e portanto, termicamente confortáveis.

Amostras superiores a 1300 pessoas foram expostas a diferentes condições de temperatura, umidade e velocidade do ar, desenvolvendo uma atividade sedentária e com vestimentas leves, em câmaras climáticas, objetivando a quantificação do conforto necessária para o estabelecimento dos índices representados nas cartas bioclimáticas (Fanger, 1972). Efetivamente, esta quantificação se deu através do Predicted Mean Vote (PMV). Este voto médio estimado, representa a sensação térmica média declarada pelas pessoas em determinado ambiente e caso não ocorram diferenças significativas, pode ser considerada representativa para o grupo. Obtido o PMV, este é utilizado para determinar a Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD), ou seja, a percentagem de pessoas insatisfeitas.

As pesquisas realizadas em câmaras climatizadas não englobam fatores como hábitos e cultura dos indivíduos, direcionando-se apenas ao estudo dos efeitos do ambiente físico sobre o conforto do homem. As câmaras climáticas não incluem a variável tempo, enquanto os estudos de campo (questionários) usualmente se restringem ao instante de medição (PATRÍCIO et al, 1997).

Ainda sobre esta lacuna existente nas pesquisas realizadas em câmaras climatizadas é de suma importância destacar que:

A lacuna fundamental desta teoria assenta no fato de se basear apenas em investigações laboratoriais, quando existem estudos de campo que comprovam claramente a capacidade de adaptação dos indivíduos ao meio em que estão inseridos. Esta tendência adaptativa inerente aos seres vivos dota-os de uma capacidade de aceitação de situações térmicas, as quais aparentemente poderiam ser tomadas como extrapolando os limites de áreas consideradas de conforto (SILVA, 1999, p.12).

Esta capacidade de aclimatização do ser humano às condições climáticas se torna evidente, por exemplo, quando ocupantes de edificações ventiladas naturalmente nos climas mais quentes, aceitam de forma mais apropriada as maiores amplitudes térmicas diárias.

Givoni, apud. Patrício (1997), também observa que indivíduos de climas extremamente quentes, vivendo em edifícios não climatizados, são capazes de tolerar altos níveis de temperatura e umidade, ainda que estes sejam qualificados pelo ASHRAE como desconfortáveis.

Estudos realizados com grupos de pessoas de culturas e regiões geográficas distintas comparam as condições de conforto e as preferências térmicas por estes reveladas conforme a Tabela 4.

Tabela 4 – Preferências térmicas

Grupo	Estudo	Temp. Ambiente Preferida (°C)	Perda por Evaporação durante Conforto (g/m ² /h)	Número de Pessoas
Americanos	Nevins et al.	25.6		720
Dinamarqueses	Fanger	25.7		256
Dinamarqueses	Fanger e Langkilde	25.0	18.0	64
Pessoa proveniente dos trópicos	Universidade Técnica da Dinamarca	26.2	17.1	16
Equação de Conforto	Fanger	25.6		

Araújo (1996), definiu índices de conforto térmico para usuários de edificações escolares (na cidade de Natal-RN) e após compará-los com diversos dos índices freqüentemente utilizados no País, verificou que, com exceção do índice de temperatura efetiva, todos os outros índices comparados (zonas de conforto de Olgyay e Givoni, modelo de Fanger e índice da temperatura efetiva padrão) se mostraram inadequados para o caso estudado.

Silva (1999), considera que os princípios construídos por Olgyay (1973), Fanger (1972) e Givoni (1976), visto que o desempenho térmico dos edifícios está diretamente associado ao tipo de configuração do solo relativamente às dimensões, orientação e distribuição dos edifícios, à cobertura do solo e à orografia, entre outros mais, podem ser aplicados também aos espaços urbanos.

Apesar de parecerem recentes, as preocupações relacionadas especificamente com a variável climática vento e os seus efeitos diretos sobre o meio urbano, já se faziam notar desde as antigas civilizações quando do planejamento das suas cidades, estas demonstrando significativos cuidados quanto à sua orientação em relação aos ventos dominantes. Claros exemplos destas considerações podem ser percebidos nos desenhos, embora ainda desprovidos de maiores informações técnicas, das cidades de Kahun (2000 a. C.), no Egito antigo e Buenos Aires (1745), na Argentina do período colonial.(Figura 1,a e b).

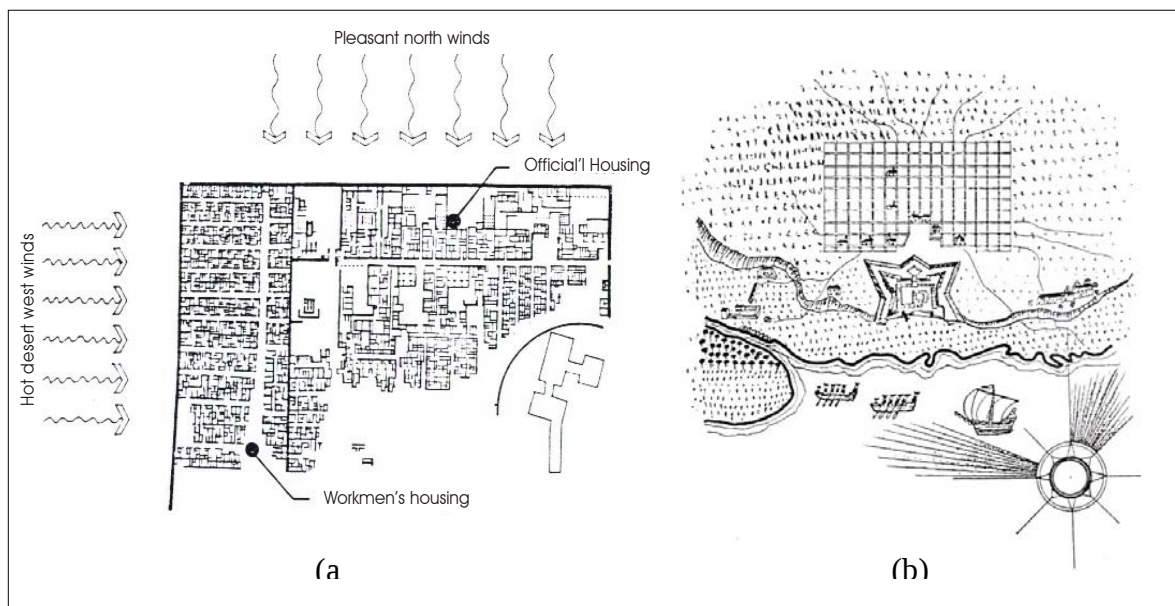


Figura 1 - a- Esboço do *layout* de casas em Kahun, Egito, por volta de 2000 a.C.;
b- Esboço de um plano de cidade espanhol para Buenos Aires nos tempos coloniais.

Fonte: AYNSLEY et al., 1977, p. 2, 6 apud SILVA, 1999 p. 15

O esboço da distribuição do uso do solo da cidade de Kahun mostra o setor destinado às habitações das autoridades orientado para receber os ventos satisfatórios, sendo protegidas dos ventos quentes do deserto pelo setor determinado à implantação das habitações dos trabalhadores. (Figura 1a). Quanto ao exemplo de Buenos Aires, percebe-se no plano a clara preocupação de preservar a cidade através da orientação das suas ruas, dos ventos dominantes, minimizando assim a sua incursão no sentido longitudinal através da área urbana. (Figura 1b).

Diversos outros artifícios semelhantes aos citados anteriormente se fazem presentes no planejamento de inúmeras cidades em todos os continentes. Exemplos de áreas urbanas que se utilizam da topografia acidentada, erigindo-se sob a proteção de montanhas com o intuito de evitar ou minimizar a ação de ventos indesejáveis, bem como o uso de verdadeiros cinturões verdes, a funcionar como barreira aos ventos frios e mesmo assim, permitindo a sua exposição aos ventos de verão, são comentados por Silva (1999). Entre elas encontram-se *Letchworth* e *New Jersey*.

As interferências imputadas ao vento sobre as estruturas urbanas, o edifício isolado ou ainda ao homem são diversas, bem como o são os estudos ao seu respeito. Vastos também são os estudos sobre a ação recíproca das cidades sobre o meio ambiente, sobretudo o ar, o clima e os fatores que o compõem.

As análises a respeito do campo de pressões do vento em torno de edifícios, sendo estes agrupados ou não, vem há décadas tomando vulto e reforçando a sua importância como subsídio para os planejadores, visando o entendimento para avaliações, entre outras, das modificações por eles implementadas sobre o clima urbano e os padrões de vento locais, estes diretamente relacionados com o controle da propagação de poluentes nas áreas urbanas.

De Evans (1957) até Silva (1999), longo caminho foi e continua sendo trilhado. Na busca destes conhecimentos diversas técnicas foram criadas, utilizadas e aprimoradas. Dentre as técnicas hoje conhecidas e utilizadas, destaca-se a das *figuras de erosão de areia* Janeiro Borges e Saraiva (1980), que se utiliza de modelos em escala reduzida, submetidos à ação de túneis aerodinâmicos para o estudo das ações do vento sobre estes.

Como demonstrado anteriormente através dos estudos citados, vastos são e foram desde a antiguidade até os dias atuais os aspectos levados a cabo nas pesquisas relativas à ação do vento sobre o homem e o seu habitat. Quanto ao conforto do indivíduo principalmente, as abordagens são exaustivas; entretanto só com o aprimoramento das

tecnologias construtivas que permitiram o surgimento dos primeiros arranha-céus se fizeram necessárias novas considerações relacionadas desta feita com o efeito do vento sobre as estruturas dos edifícios de grandes alturas. Ainda a esta época surgem as primeiras preocupações com a segurança do indivíduo ante a ação do vento, principalmente no tocante à segurança dos trabalhadores ligados à construção civil, que se envolviam em constantes acidentes de trabalho quando atingidos por determinadas rajadas de vento.

A inserção freqüente de edifícios de grandes alturas nas cidades, despertou em alguns pesquisadores, há pouco mais de vinte anos, o interesse quanto à segurança de pedestres que se deslocam nos espaços exteriores adjacentes a estas edificações. A exemplo disto, Saraiva (1994), através de observações realizadas em campo, constatou que enquanto pedestres que transitavam em áreas antigas de pequenas cidades, submetidos a condições de vento equivalentes a velocidades de rajada máxima em torno de 16 m/s (verificadas a 2 m do solo), mesmo sofrendo certo grau de desconforto não se expunham à problemas de integridade física, o mesmo não ocorrendo nas grandes cidades, onde nas proximidades de grandes edifícios, à mesma altura em relação ao solo as velocidades de rajada registradas excediam os 20 m/s projetando ao solo alguns pedestres, que quando surpreendidos eram incapazes de resistir aos seus efeitos.

O exposto no parágrafo anterior se refere ao critério da *velocidade efetiva*, que alia o efeito da velocidade média do vento e das rajadas, sendo a ação instantânea destas, o que com freqüência ocasiona o tombo dos pedestres, visto que não lhes permite que se preparem para enfrentá-las.

Silva (1999), apresenta o critério de conforto para pedestres mostrado na Tabela 5 como sendo o mais correntemente referido pela bibliografia específica:

Tabela 5 - Critério de conforto

U _e	Critério de conforto
6m/s	limite de conforto
9m/s	desempenho afetado
15m/s	controle do caminhar afetado
20m/s	perigoso para pessoas frágeis

Fonte: SILVA, 1999, p.19

Dois outros critérios de conforto são ainda utilizados com a finalidade de parametrizar a influência do vento sobre os riscos à integridade física e o conforto do ser humano. Um deles foi desenvolvido por *Davenport* e reza a respeito de uma aproximação da sensação de conforto onde são consideradas as atividades a serem desenvolvidas pelo homem, o local, a frequência dos ventos mais fortes e as cotas de altimetria tomadas para os cálculos ou ainda as medições. É importante destacar que este estudo considera resultados levantados para o Canadá. A utilização desse critério, afirma Silva (1999), consiste em tomar a frequência de uma determinada velocidade de vento e deduzir, considerados o local e a atividade desenvolvida, se as condições de conforto relativas ao vento são, perceptíveis, toleráveis, desagradáveis ou mesmo perigosas.

As Tabelas 6 e 7, exprimem a analogia entre o número de *Beaufort* e a velocidade de vento respectiva em m/s.

Tabela 6 - Tentativa de critério de conforto para ventilação

Activity	Applicable Areas	Relative comfort			
		Perceptible	Tolerable	Unpleasant	Dangerous
1. Walking fast	Sidewalks	5	6	7	8
2. Strolling, skating	Parks, entrances, skating rinks	4	5	6	8
3. Standing, sitting - short exposure	Parks, plaza areas	3	4	5	8
4. Standing, sitting - long exposure	Outdoor restaurants, bandshells, theatres	2	3	4	8
Representative criteria for acceptability			<1 occn/week	<1 occn/month	<1 occn/year

Fonte: DAVENPORT apud BLANPAIN, 1995, p. 56
(Unidades.: número de Beaufort; temperaturas > 10°C).

Tabela 7 - Relação entre o número de *Beaufort* e a velocidade do vento (m/s)

Beaufort Number	1	2	3	4	5	6	7	8
Mean wind speed in range at 10m height in open country	0.9	2.4	4.4	6.7	9.3	12.4	15.5	18.9
Gust speed at 2m height from $\bar{V}_2 = \bar{V}_{10} \cdot 1.5 \times 0.8$	1	3	5	8	11	15	19	23
Mean wind speed in range at 2m height in city area from $\bar{V}_2 = 0.5 \times \bar{V}_2$	0.5	1.5	2.5	4	5.5	7.5	9.5	11.5

Fonte: DAVENPORT apud BLANPAIN, 1995, p. 56

O terceiro dos critérios de conforto, denominado critério térmico, tem como suporte o conhecimento de uma temperatura correspondente do ar, advinda da combinação entre a temperatura sem vento e a velocidade do vento como demonstra a Figura 2.

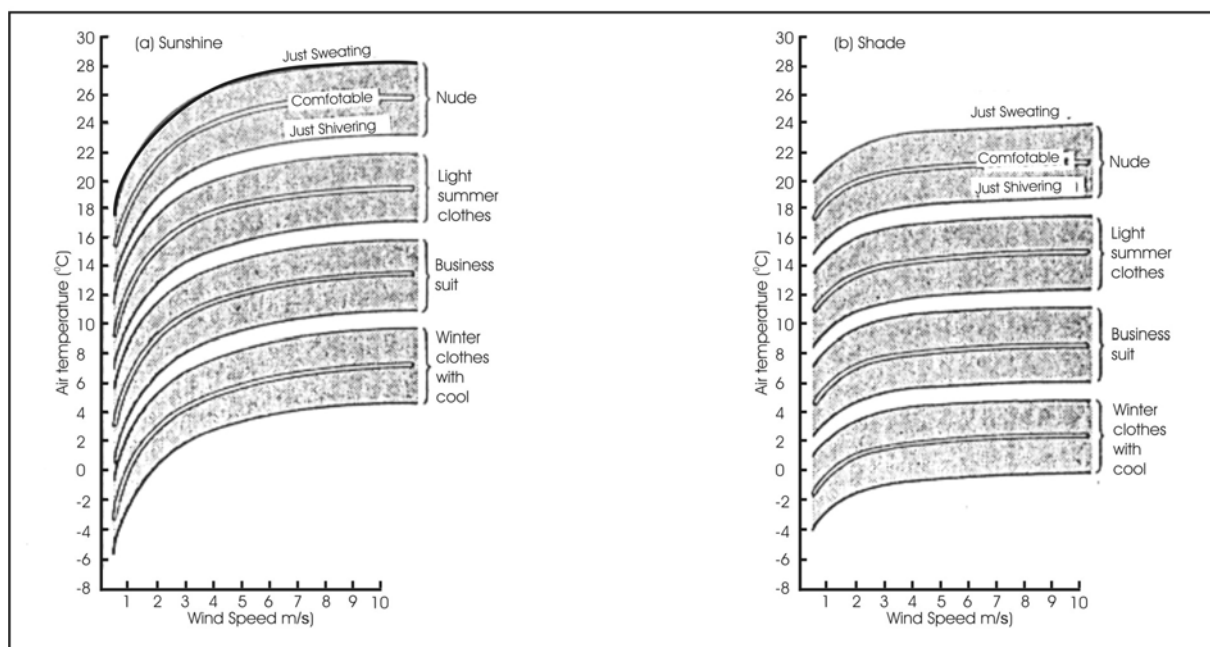


Figura 2 - Critério de Conforto Térmico

Fonte: PENWARDEN, 1973 apud BLANPAIN, 1995, p. 57.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Muito embora não sendo este o foco da presente pesquisa, que direciona suas ações para um dos elementos que compõem o clima, neste caso especificamente os ventos; o entendimento de algumas definições bem como de determinados parâmetros relativos ao clima, e alguns dos fatores que a ele se encontram associados, ainda que sem um grande aprofundamento, são relevantes ao passo que objetivam facilitar a compreensão do conteúdo deste trabalho.

2.1 CLIMA

Moreira (1998), acredita que qualquer afirmação a respeito de clima implica num extenso período de observações (não inferior a 30 anos), em que os climatologistas verificam se determinados índices são constantes na maior parte do período estudado.

Segundo Koenigsberger (1977), o clima é uma integração no tempo dos estados físicos do ambiente atmosférico, que caracterizam determinado local geográfico. Diversas outras definições podem ser encontradas na vasta bibliografia relativa ao clima e na sua grande maioria não apresentam maiores divergências quanto à sua conceituação.

Sorre (1934), acredita que as definições clássicas enfatizam de forma exagerada a noção de temperatura média e considera que de forma mais objetiva, o clima em um local determinado é tido como a série de estados da atmosfera em sua sucessão habitual. Ainda sobre esta definição, o autor acredita que seja capaz de sintetizar a noção de clima, realçando o seu aspecto local e ainda evidenciando o seu caráter dinâmico, introduzindo, segundo ele, idéias de variação e de diferenças incluídas nas de sucessão.

O clima é formado por vários elementos que se inter-relacionam de forma dinâmica e são capazes de interferir ou até condicionar as atividades de um complexo vivo (fauna, flora e

seres humanos) de um determinado local. Os principais elementos de composição do clima são assim apresentados e descritos:

- **Radiação Solar-** Diversos são os fatores capazes de influenciar no comportamento da radiação solar e conseqüentemente afetar o seu efeito térmico. No seu longo percurso até atingir qualquer superfície próxima do solo, a radiação solar sofre modificações diversas. Entre outros elementos capazes de alterá-la estão a quantidade de água presente na atmosfera, o nível de concentração de gases poluentes no ar, partículas de poeira em suspensão presentes nas camadas mais baixas da atmosfera, e ainda a concentração de dióxido de carbono e ozônio, entre outros. A maior ou menor absorção/reflexão da radiação por parte das superfícies está relacionada, além das propriedades específicas dos próprios materiais, com a orientação das mesmas, e ainda com aspectos como a latitude do lugar, dia do ano , horário e a nebulosidade, esta diretamente relacionada com os períodos de sol.

- **Temperatura -** A superfície terrestre e outras superfícies de contato transformam em calor parte da energia solar incidente. A quantidade de calor que estas superfícies ganham ou perdem afetam diretamente a temperatura do ar, variando os seus valores conforme os períodos diurno e noturno, nebulosidade, latitude do local e estações do ano. Em condições normais, a temperatura atmosférica diminui com a altura, sendo assim, as camadas mais frias de ar posicionam-se acima das camadas de maior temperatura, desta forma, o ar ascende a partir da superfície terrestre em direção as camadas superiores (de menor temperatura). Os fenômenos de inversão térmica ocorrem quando uma camada de ar quente se posiciona sobre uma de ar frio, neste

caso, com a redução da capacidade de dispersão, agravam-se sensivelmente os problemas de poluição do ar.

- Vento - O movimento do ar será tratado de forma isolada ao longo deste trabalho em seus pormenores.
- Umidade (absoluta e relativa) - Diretamente associada à temperatura do ar, a umidade expressa a quantidade de água presente neste, podendo ser apresentada de forma absoluta (UA) ou relativa (UR). Diz-se que a umidade é absoluta quando esta é expressa pela quantidade de água presente na unidade de massa ou no volume de ar seco. Quando esta é indicada pelo resultado da relação entre a quantidade de água real existente e a maior quantidade de água que o ar poderia receber à mesma temperatura, diz-se relativa, e pode-se expressá-la através da fórmula a seguir: $UR = UA/US \times 100\%$

Onde UR = Umidade Relativa

UA = Umidade Absoluta

US = Umidade de Saturação

- Precipitação - A quantidade de água precipitada sobre as superfícies, bem como o tempo de escoamento e a sua absorção, são capazes de interferir de forma satisfatória ou não sobre os outros fatores anteriormente descritos. Alguns efeitos da urbanização, entre eles a rugosidade dos edifícios, o ar quente ascendente e o aumento dos núcleos de concentração de aerossóis (Lombardo, 1985), são capazes de elevar a quantidade de precipitação à taxa de 5 a 10 %.

Com base na quantificação destes parâmetros, o globo terrestre pôde ser dividido em zonas climáticas, que dentro de uma mesma sucessão de tempo demonstram características semelhantes e servem de orientação sobre os aspectos gerais do clima.

A intrínseca inter-relação entre estes elementos de composição do clima anteriormente citados, pressupõe a necessidade de uma análise simultânea e detalhada dos mesmos para a execução de estudos climáticos com graus de fidedignidade consideráveis.

É verdade também que a adoção pura e simples de qualquer classificação climática exige determinados cuidados, já que é sabido que além das possíveis imprecisões, os fatores climáticos locais são capazes de interferir de forma bastante significativa sobre o comportamento dos parâmetros do clima de uma unidade. Vistas sob esta ótica, as classificações climáticas enquadram sim, de forma estática, definições dinâmicas do clima, e devem ser adotadas de forma bastante criteriosa.

Enveredando do âmbito geral para o específico, ou seja, partindo dos climas zonais, passando pelos regionais e sub-regionais, chega-se ao clima local (unidade básica de observação meteorológica). Este clima, mantém segundo Monteiro (1976), uma estreita relação com os graus de urbanização observados no local. (Quadro 1).

Quadro 1 – Relação entre clima e urbanização

Espaços Climáticos	Espaços Urbanos
Zonal	xxxxxxxxxxxxx
Regional	Megalópole-Grande área metropolitana
Sub-regional	Megalópole-Grande área metropolitana
Local	Área metropolitana-Metrópole
Mesoclima	Cidade grande - Bairro ou subúrbio de metrópole
Topoclima	Pequena cidade – bairro / subúrbio de cidade
Microclima	Grande edificação-habitação-setor de habitação

Fonte: adaptado de MONTEIRO, 1976

Para uma melhor compreensão do quadro anteriormente apresentado, é importante a elucidação de alguns dos termos neste utilizados, deste modo, seguem de maneira sucinta algumas considerações:

- Mesoclima – Pode ser entendido como o clima que mesmo presente em pequenas áreas da superfície do planeta, não retrata o clima geral de uma região. Monteiro (1976), descreve-o como sendo uma subdivisão, parte ou fração do clima local (unidade básica). No entendimento de Marino et al. (1980), reproduz uma escala intermediária entre o macro e o microclima. As áreas mesoclimáticas apresentam extremos de temperatura, por vezes diferenciando-se das áreas que as circundam em vários graus.
- Topoclima – Advém da modificação pela topografia acidentada, do clima regional. Associado diretamente à forma, pode facilmente ser detectado em várzeas, vales, serras e outras formações similares. Em locais de topografia mais regular, os próprios volumes tridimensionais dos edifícios inseridos e as suas variações dimensionais, podem funcionar como se ali existissem nuances topográficas capazes de interferir no seu clima.
- Microclima – Considera-se neste, apenas a camada mais próxima da superfície terrestre. Entretanto, existem divergências entre alguns autores sobre os limites verticais da camada a ser considerada. Alguns estabelecem os seus limites como sendo de dois metros acima do solo, entretanto Monteiro (1976) acredita que este limite, muito embora esteja próximo da altura de dois metros, pode ser menos rigoroso, alcançando em algumas situações algumas dezenas de metros. Outra definição é dada por Marino et al. (1980):

A estrutura fina climática do espaço aéreo que se estende da superfície da terra até uma altura onde os efeitos característicos da superfície não mais se distinguem do clima geral local (meso ou macroclima). (MARINO et al., 1980).

No mesmo trabalho, de forma similar ao que afirma Monteiro (op. cit.), Marino (op. cit.) registra que a espessura da camada considerada acima do nível do solo para estudos de microclimas deve se ajustar ao objeto de interesse, e ainda comenta que esta corresponde

geralmente à ordem de quatro vezes a altura das superfícies estudadas, visto que neste limite desaparecem as condições microclimáticas.

Sob uma visão ainda mais acurada é possível perceber que , os microclimas sofrem modificações advindas das ações antropogênicas relacionadas às atividades desenvolvidas nas cidades, sobretudo nas grandes metrópoles, que crescem intensa e desordenadamente, prescindindo na grande maioria das vezes de um planejamento eficaz. Desta maneira, fatalmente as áreas urbanas apresentarão um clima diferenciado daquele encontrado no campo que a circunda.

Segundo Monteiro (1976), a esse sistema que engloba o clima de um determinado espaço terrestre e a ação modificadora do homem (urbanização) sobre este se dá o nome de *clima urbano*.

Alterações imputadas ao homem, tais como a modificação das propriedades físicas e químicas, processos aerodinâmicos, térmicos, hidrológicos e de troca de massa que acontecem na camada limite atmosférica, acredita Chandler (1976), têm como inferência o surgimento de um tipo climático local e distinto, com propriedades meteorológicas do ar peculiares acima das áreas urbanas por ele também denominado *clima urbano*.

2.2 ATMOSFERA

Por definição, esta é uma camada composta por gases que funciona como uma membrana de proteção em torno da terra, evitando a incidência direta dos raios solares sobre o planeta. O nitrogênio é o gás mais presente em termos percentuais na sua constituição, entretanto outros como o oxigênio, o argônio e o dióxido de carbono se fazem também significativamente presentes.

Em função da temperatura, a atmosfera encontra-se subdividida em cinco camadas assim descritas:

- Troposfera – É a camada mais próxima a terra, com altura média de 10 a 12 Km. Nos trópicos esta camada chega aos 16 Km de espessura, diminuindo a menos de 9 Km nas regiões próximas aos pólos. Dentro desta camada acontecem a grande maioria dos fenômenos climáticos.
- Estratosfera – É a camada subsequente à troposfera. Possui temperatura quase constante até os 20 Km, a partir de onde se eleva à medida que se aproxima o seu limite de aproximadamente 45 a 50 Km. Nesta altura concentra-se o ozônio, responsável pela absorção da radiação ultravioleta proveniente do sol, assegurando as condições de sobrevivência na superfície do planeta.
- Mesosfera – Segue-se à estratosfera, o seu limite superior encontra-se situado entre 80 e 85 km, onde as temperaturas são mais baixas.
- Termosfera – Logo acima da mesosfera, esta camada, onde a temperatura mais uma vez se eleva, funde-se de maneira gradual com o *espaço* no decorrer de milhares de quilômetros. Esta camada não apresenta o seu limite superior de forma muito exata, entretanto, quando acima dos 500 Km é por vezes denominada exosfera.

2.3 CIRCULAÇÃO ATMOSFÉRICA

A circulação geral da atmosfera é responsável pela existência das grandes zonas climáticas. O complexo mecanismo desta circulação desenvolve-se através de circuitos ou módulos circunscritos a cada uma das zonas climáticas.

Em cada um dos hemisférios (Norte e Sul), estão presentes três módulos onde dentro dos seus limites, o mecanismo da circulação atmosférica tende a se repetir ano após ano, atribuindo a cada uma das zonas climáticas as suas características peculiares. Esta circulação *primária* ocorre em nível de zonas latitudinais e determinam o padrão geral dos climas.

A presença dos módulos em cada um dos hemisférios anteriormente citados, é proveniente do aquecimento diferenciado das zonas equatoriais e polares, devido à inclinação do eixo da terra em relação ao seu plano de órbita conjuntamente com os seus movimentos de rotação e translação, que expõem alternadamente os hemisférios aos raios solares durante o ano. Deste modo, as calotas polares estão sujeitas ao ar mais frio, enquanto que a faixa do equador a temperaturas do ar mais altas, configurando um padrão de circulação global demonstrado de forma esquemática na Figura 3.

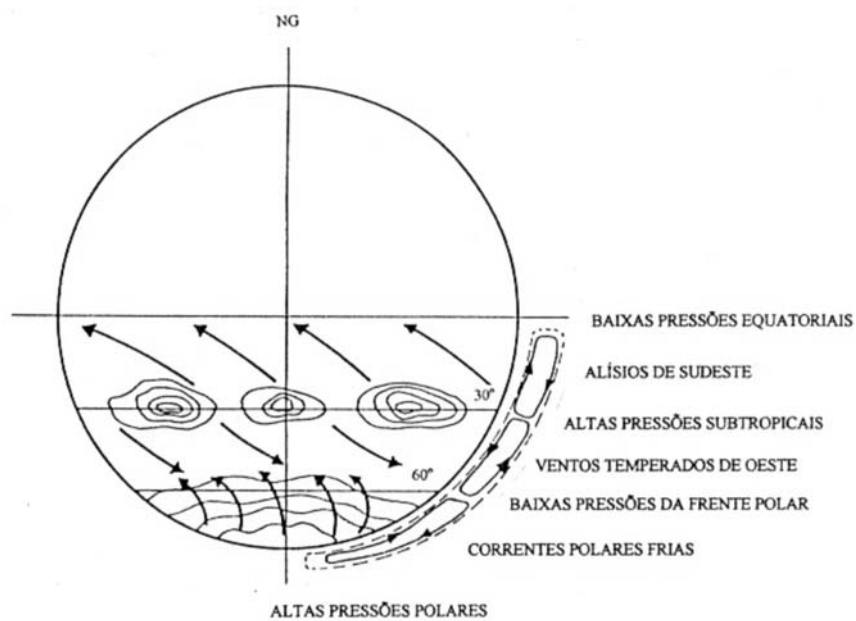


Figura 3 – Modelo tricelular

Fonte: adaptado por SILVA, 1999, p.146.

Obviamente esta representação simplifica um processo bastante complexo que envolve outros não menos abrangentes relacionados às trocas térmicas entre o sol e a terra (por radiação), da atmosfera e a sua própria radiação, das transferências de calor (por condução e convecção) e ainda das ações compressivas e expansivas das massas de ar.

Existem ainda outras circulações menos abrangentes (secundárias e terciárias) em relação às grandes zonas climáticas. Como exemplo de circulações secundárias estão os anticiclones e os ventos *monçônicos*, que compreendem áreas menores e em uma escala ainda mais restrita. Representando as circulações terciárias, observam-se os ventos locais à exemplo do vento *minuano*, presente no Sul do Brasil.

Desta forma, é possível concluir que a circulação atmosférica geral estabelece os tipos de clima globais (polares, tropicais, temperados), ao passo que a secundária, agregada a nuances como relevo, vegetação e correntes marítimas, explicam, segundo Moreira (1998), as variações regionais ou os subtipos climáticos.

2.3.1 AS MASSAS DE AR

Sene (1999) considera as massas de ar como sendo bolsões de ar de dimensões grandiosas, ventos de escala planetária, que devido às diferenças de pressão, se movimentam pela superfície terrestre guardando aspectos característicos de temperatura e umidade da sua região originária.

O deslocamento das massas de ar entre pontos distintos da terra ocorre devido às variações de temperatura do ar atmosférico que ocasionam diferenças de pressão, movimentando-as entre zonas de baixas e de altas temperaturas do globo terrestre.

Nas regiões de altas temperaturas (tropicais) o ar apresenta uma menor concentração de moléculas, conseqüentemente, menores peso e pressão por metro cúbico, sendo assim, estas são consideradas *zonas de baixa pressão*, capazes de atrair massas de ar (ciclônicas). Por sua vez, de maneira oposta, nas regiões de baixas temperaturas onde o ar concentra uma maior quantidade de moléculas a pressão do ar é maior, constituindo assim regiões de

dispersão de massas de ar (anticiclônicas), ou zonas de alta pressão, a exemplo das regiões polares e subtropicais.

Moreira (1998) considera então que, os ventos sempre sopram das áreas de alta pressão (baixas temperaturas) para as de baixa pressão (altas temperaturas). Vale ressaltar que o movimento de rotação da terra ocasiona uma força desviadora (força de Coriolis), que em seu efeito defletor provoca uma deriva na direção do vento. Na inexistência desta força, os ventos ocorreriam sempre na direção da trajetória Norte – Equador ou Sul – Equador, como pressupõe a lei da gravidade, contudo a ação da *força de Coriolis* provoca nos ventos redirecionamentos para a direita e para a esquerda nos hemisférios Norte e Sul respectivamente.

Quanto aos tipos existentes de massas de ar, os mais presentes na literatura consultada, bem como os seus subtipos, áreas de origem e características encontram-se agrupados no Quadro 2.

Quadro 2 – Tipos e Características das massas de ar

Tipo	Subtipo	Área de origem	Características originais
Polar (P)	Polar marítima (PM)	Oceanos (acima de 50° de latitude)	Fria, úmida e instável
	Polar continental (PC)	Antártida e áreas continentais mais próximas do pólo norte	Fria, seca e estável
Tropical (T)	Tropical marítima (TM)	Oceanos (proximidade dos trópicos)	Quente e úmida, estável na parte leste e instável a oeste do oceano
	Tropical continental (TC)	Desertos tropicais	Quente, seca e estável
Equatorial (E)	Equatorial marítima (EM)	Oceanos (próximo do equador)	Quente e úmida
	Equatorial continental (EC)	Continentes (idem)	Quente e geralmente úmida

2.3.2 A CAMADA LIMITE ATMOSFÉRICA

A terra encontra-se submetida à ação do sol, que ocasiona um aquecimento não uniforme da sua superfície. Este aquecimento por sua vez, provoca coeficientes diferenciados de pressão entre pontos à mesma cota de altura, resultando na formação dos ventos.

O vento apresenta comportamento diferenciado nos seus escoamentos. Fluxos e velocidades se modificam condicionados por uma fronteira conhecida como camada limite, gerada pelo efeito de uma força horizontal de retardo sobre o escoamento, exercida pela superfície da terra. Esta *camada limite atmosférica* possui características inerentemente tridimensionais e turbulentas (escoamento perturbado), que se encontram condicionadas à rugosidade do terreno, condições atmosféricas e intensidade do vento, fazendo com que a mesma varie desde algumas poucas centenas de metros até, em certos casos, a alguns quilômetros de altura.

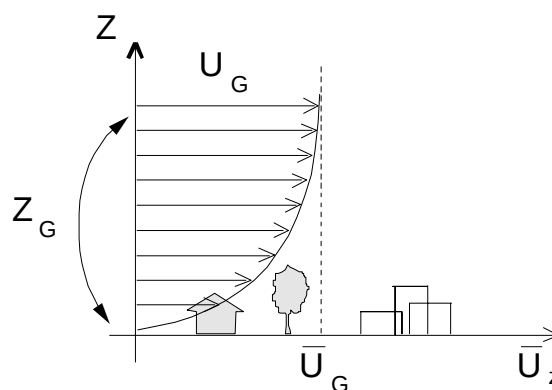


Figura 4 - Camada Limite Atmosférica.

Fonte:GANDEMER, 1976, p. 3

No topo da camada limite atmosférica, desenvolve-se um tipo de escoamento não perturbado que independe das condições locais, também chamado vento geostrófico, cuja intensidade é proporcional ao gradiente de pressão local e a direção é tangente às isóbaras, apresentando características de uniformidade, regularidade e pouca turbulência.

A faixa conhecida como Camada Limite Atmosférica (CLA) estende-se desde a superfície terrestre ao nível do escoamento não perturbado, e é influenciada pela viscosidade do ar que impõe a condição de não escorregamento junto a quaisquer fronteiras sólidas onde a velocidade relativa do escoamento é nula, bem como um retardamento da camada de ar contígua à de velocidade nula. Tal retardamento propaga-se na direção perpendicular e em sentido contrário à fronteira sólida, num processo de troca de movimento entre as partículas do ar com velocidades diferentes até o escoamento assumir a velocidade do vento gradiente acima da CLA, onde o efeito das forças de atrito torna-se desprezível.

As rugosidades, assim como os coeficientes de atrito, são específicos para cada tipo de terreno. Nos terrenos de relevos reduzidos, o atrito impõe a ocorrência de velocidades médias reduzidas próximas ao solo, entretanto, esta cresce até a cota Z_g (fronteira da CLA), a partir de onde passa a ser constante (velocidade gradiente), e igual a U_g , independente do local. Gandemer e Guyot (1981) apresentam a rugosidade em cinco classes assim descritas:

- Classe I: Oceano, grande lago;
- Classe II: Campo raso;
- Classe III: Arredores, subúrbios;
- Classe IV: Zona urbana;

- Classe V: Centro de grandes cidades.

Os valores numéricos correspondentes a estas classes estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Valores de k e Z_0 para as classes de rugosidade

Classe de rugosidade	I	II	III	IV	V
Z_0 (parâmetro de rugosidade em m)	0,005	0,07	0,03	1	2,5
k (coeficiente em função da rugosidade)	0,166	0,202	0,234	0,266	0,292

Fonte: GANDEMER e GUYOT, 1981.

O Gráfico 1 apresenta valores de rugosidade e coeficiente de atrito característicos para alguns tipos de superfícies.

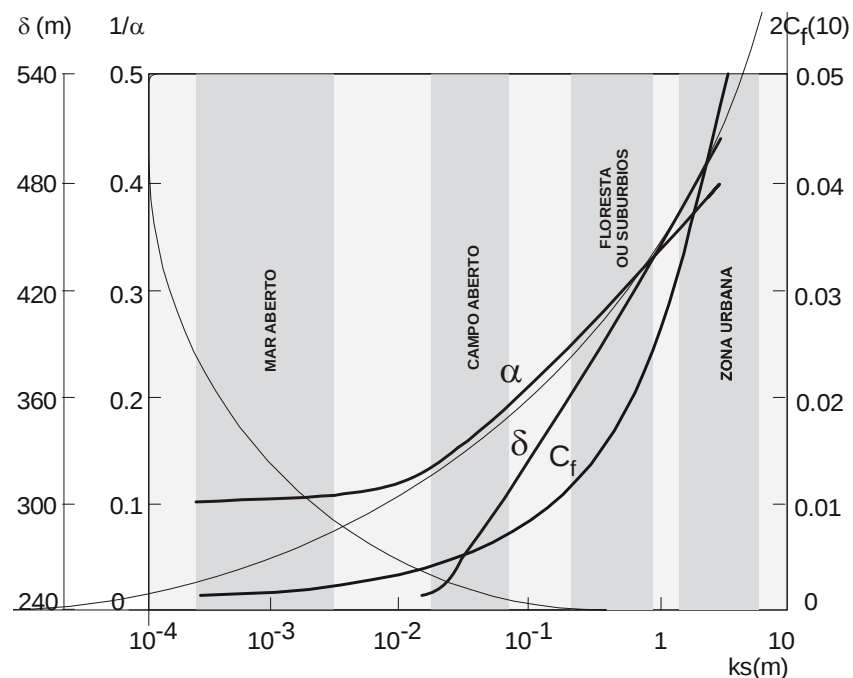


Gráfico 1 - Rugosidades e coeficientes de atrito para vários tipos de terreno.

Fonte: SARAIVA, 1983, p. 86

2.3.3 VENTOS (escalas de estudo)

Os ventos, além de estudados em escala global na atmosfera, também o são em escalas de menores dimensões, tendo os seus próprios domínios. Três destas escalas de estudo são objeto de proposta no trabalho de Gandemer e Guyot (1976), e são descritas da seguinte forma:

- Escala nacional: Mapeamento nacional com o módulo e direção dos ventos.
- Escala regional: Mapeamento da região que pode ser estabelecido com base em dados de estações meteorológicas distintas.
- Escala urbana: Identificação dos efeitos aerodinâmicos; modificações dos parâmetros de direção e velocidade do vento coletado em estações meteorológicas mais próximas, observando-se para tanto características da forma de densificação do solo e sua altura média, bem como dos efeitos produzidos pela paisagem natural; detecção de correntes e turbulências entre outras características específicas do local.

A distância entre as estações meteorológicas e as áreas urbanas específicas geram algumas dificuldades para os pesquisadores, mesmo consideradas as possibilidades de tratamento dos dados meteorológicos de estações mais próximas. Em alguns casos, a escala de força dos ventos desenvolvida por Beaufort em 1806, a partir de observações visuais, pode ser utilizada como parâmetro de avaliação de um dado vento quando da inexistência de dados meteorológicos do local, através de levantamentos em campo. (Tabela 9).

Tabela 9 – Parâmetros de avaliação velocidade do vento x fenômenos observados

Escala de Beaufort	Velocidade dos ventos		Fenômenos observados
	m/s	Km/h	
0	0/0,2	0/0,7	A fumaça sobe de forma vertical;
1	0,3/1,5	1,1/5,4	O vento faz a fumaça se inclinar mas ainda não consegue girar o cata-vento;
2	1,6/3,3	5,7/11,9	O ser humano percebe o vento no rosto, as folhas das árvores e o cata-vento começam a mexer;
3	3,4/5,4	12,2/19,4	As folhas e os pequenos ramos das árvores se mexem de forma contínua e o vento faz as bandeiras se mexerem;
4	5,5/7,9	19,8/28,4	O vento tira a poeira do chão e levanta as folhas de papel;
5	8,0/10,7	28,8/38,5	As pequenas árvores começam a se mexer e começa a formar espuma nas ondinhas dos lagos;
6	10,8/13,8	38,8/49,7	Os fios elétricos começam a se mexer e fica muito difícil usar um guarda-chuva;
7	13,9/17,1	50,0/61,5	As árvores ficam completamente agitadas e fica muito difícil andar de frente para o vento;
8	17,2/20,7	61,9/74,5	Os pequenos ramos das árvores se quebram e não se pode andar normalmente sem um esforço terrível, de frente para o vento;
9	20,8/24,4	74,8/87,8	As telhas dos telhados começam a ser arrancadas, bem como outros pequenos danos em relação à casa;
10	24,5/28,4	88,2/102,2	Normalmente só acontece no mar. Quando ocorre na terra, pode arrancar árvores pela raiz.

Fonte: GANDEMER e GUYOT, 1976.

2.3.4 FORMAÇÃO DOS VENTOS – em escala nacional

A circulação atmosférica no Brasil está integrada a uma dinâmica típica das áreas tropicais, predominando o clima quente e úmido. Moreira (1998), afirma que os climas no Brasil, são controlados sobretudo pelo sistema dos alísios, que dão origem as massas de ar equatoriais e tropicais, devido ao fato do país se encontrar na zona intertropical.

Do centro de altas pressões do Atlântico Norte, sediado nos Açores, divergem os alísios de nordeste, que tomam a direção leste na altura do Equador. Os ventos deste redemoinho boreal atingem a costa setentrional brasileira durante todo o ano, embora a isóbara mantenha-se sempre ao largo. Os alísios boreais fazem percurso mais longo até o Brasil do que os austrais e, aqui chegando, resolvem-se em zonas de calmaria ou definem setores de descontinuidade.

No Brasil há incidência dos ventos SE-E NE-NO no litoral. No inverno a região sul está no anticiclone e os alísios austrais varrem todo o país ao sul do vale do Amazonas. A costa oriental dos estados meridionais está sob a corrente de perturbações da frente polar austral, enquanto no vale Amazônico há a influência dos *doldrums* (calmarias) da massa equatorial continental.

Com a isóbara central de 1008 mb e temperaturas de 26 a 30 ° C (em janeiro), ocorre a monção chuvosa de verão-outono que conduz até o Paraguai os alísios boreais, sob a forma de uma longa massa de ar dorsal do anticiclone dos Açores. Além da relativa penetração dos alísios de NE-E na bacia, há uma corrente NO aspirada desde a Hiléia do alto Amazonas.

2.3.5 FORMAÇÃO DOS VENTOS – em escala regional

Na região nordeste do Brasil, de acordo com Moreira (2001), as encostas do planalto da Borborema induzem a ocorrência no litoral de chuvas típicas de áreas de maior altitude e por consequência de temperaturas mais baixas(chuvas orográficas).

No Sertão por sua vez, pela sua localização geográfica, dá-se o encontro de quatro sistemas atmosféricos provenientes das massas de ar equatorial continental, tropical atlântica, equatorial atlântica e polar atlântica. A influência da massa equatorial continental no verão, levam às pequenas quantidades de chuvas que ocorrem no local, visto que a massa equatorial continental vai se tornando menos úmida que em seu centro de origem, a Amazônia ocidental. No inverno ocorre a influência da massa tropical atlântica, dos alísios oriundos desta e, por vezes, a penetração da frente fria. Contudo estas correntes de ar já chegam secas nesta região, pois perderam sua umidade com as chuvas que ocasionaram nas áreas litorâneas e nas chapadas.

2.3.6 FORMAÇÃO DOS VENTOS – em escala urbana

Esta escala de formação dos ventos é sem dúvida a de maior interesse para esta pesquisa, que utiliza como referência a metodologia desenvolvida por Silva (1999). A frequência e direção dos ventos para a cidade de João Pessoa estão representadas na rosa dos ventos da Figura 5.

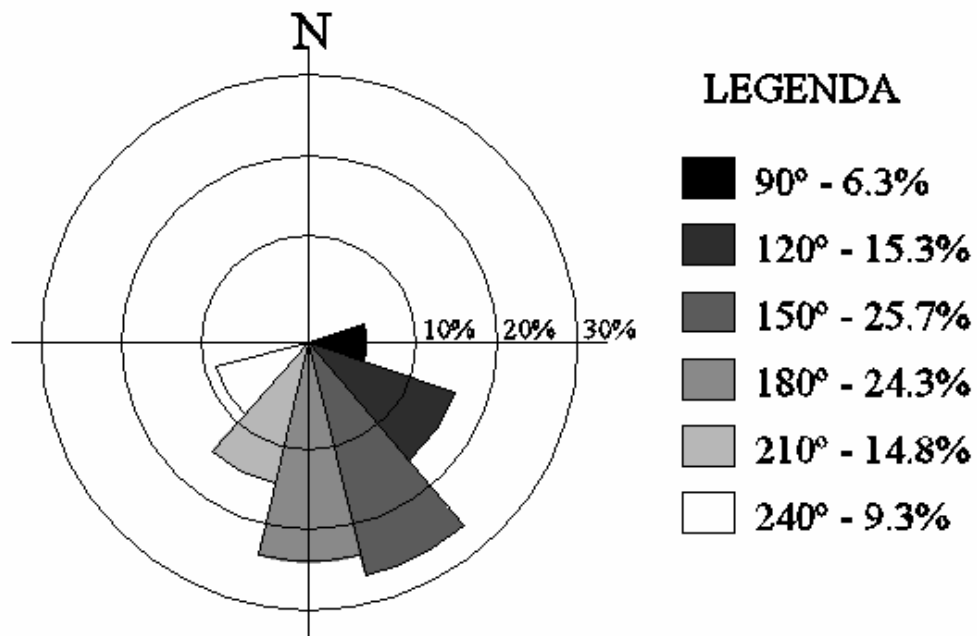


Figura 5 - Rosa dos ventos para a cidade de João Pessoa.

Diversos fatores relativos à formação dos ventos foram anteriormente comentados neste trabalho; é certo que todos eles influenciam a formação e comportamento das massas de ar, entretanto, no estudo dos ventos na escala urbana existem condições específicas capazes de modificar o comportamento dos escoamentos, que obedecem aos princípios que regem o movimento dos ventos, quais sejam:

- A rugosidade das superfícies, que através da fricção, modificam a velocidade do fluido (ar);
- A tendência do ar em continuar a se mover na sua direção inicial (antes de encontrar o obstáculo).
- O ar tende a se deslocar das zonas de maior pressão para as de menor pressão;
- Quanto à mecânica dos fluidos, o ar pode ser enquadrado na lei de Bernoulli.(anexoA);
- Apesar do movimento do ar ser do tipo laminar, os prismas das edificações ocasionarão fluxos turbilhonares.

É possível afirmar que quase todas as estruturas erigidas pelo homem para o seu usufruto encontram-se dentro da CLA, cujos valores típicos para a sua espessura atingem, aproximadamente 350 m, no caso de superfícies lisas, e em torno dos 1000 metros em áreas significativamente adensadas com gabaritos altos. Esta configuração tridimensional (rugosidade), influencia não apenas o desenvolvimento dos perfis de velocidade da CLA, mas também a sua espessura, que varia de maneira bastante expressiva conforme o tipo de adensamento superficial encontrado como obstáculo aos escoamentos. (Figura 6).

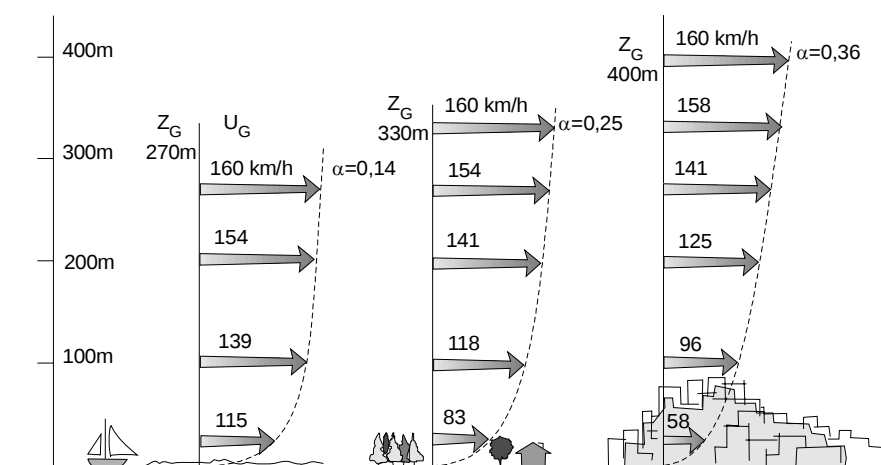


Figura 6 - Perfis de Velocidades de Camada Limite Atmosférica.
Fonte: GANDEMER, 1976, p. 20

Os efeitos aerodinâmicos decorrentes dos corpos prismáticos das edificações inseridas no espaço urbano impõem condições aos deslocamentos do vento no seu interior. Certamente este trabalho não tem a pretensão de pormenorizar os complexos efeitos físicos estudados pela mecânica dos fluidos sobre o escoamento em torno de corpos prismáticos, exaustivamente discutidos por diversos autores em bibliografia específica, a exemplo de Blevins (1984), Evans (1957) e Saraiva (1983), que observam que ao nível do solo as formas, dimensões e arranjo dos edifícios definem zonas de pressões (positiva e negativa) em volta e sobre suas superfícies, que resultam em acelerações quando da sua interseção.

Em estudos baseados em ensaios de simulação das características estáticas e dinâmicas do vento natural, considerando distintos modelos urbanísticos realizados na França, por Gandemer e Guyot (1976), é possível observar o comportamento dos escoamentos frente a alguns tipos de obstáculos, particularizando certos efeitos relacionados aos parâmetros tridimensionais de determinados edifícios. A ilustração dos principais efeitos observados no referido estudo, tem como propósito possibilitar a identificação das suas ocorrências nas figuras de erosão resultantes dos ensaios em túnel aerodinâmico apresentados no Capítulo 6.

- Efeito pilotis: O escoamento acontece sob o edifício, através das aberturas (passagens) que interligam zonas de pressão positiva às de pressão negativa. O efeito só acontece quando a altura do edifício é maior que 15 metros.

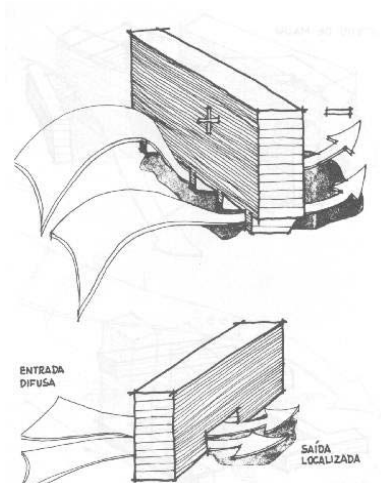


Figura 7 – Efeito pilotis

- Efeito de canto: Caracteriza-se pelo escoamento nos ângulos (cantos) das edificações. Ocorre quando em edifícios isolados a altura $h > 15$ metros e quando a altura $h > 30$ metros para os edifícios agrupados.

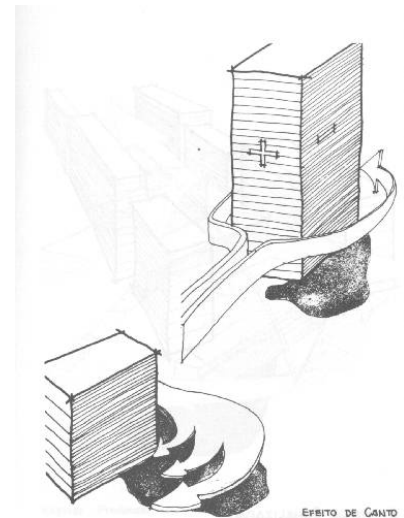


Figura 8 – Efeito de Canto

- Efeito esteira: O escoamento acontece de forma turbilhonar na parte posterior da edificação. Para que o efeito ocorra, a altura do edifício deve estar no intervalo entre 15 e 30 metros.

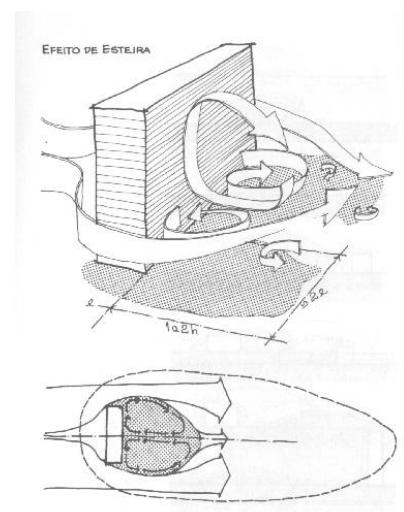


Figura 9 – Efeito esteira

- Efeito de turbilhão na base: Ocorre uma circulação de forma turbulenta na base do edifício localizada a barlavento quando a sua altura for maior que 15 metros.

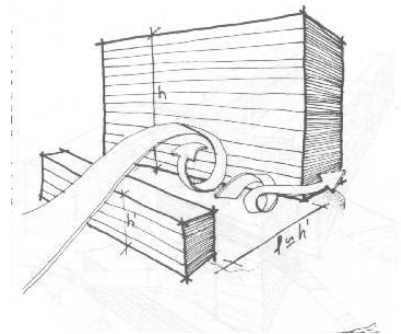


Figura 10 – Efeito de turbilhão na base

- Efeito Venturi: Ocorre quando os edifícios se posicionam formando um ângulo aberto para barlavento, afunilando-se em direção oposta, ocasionando um estrangulamento onde se estabelece uma zona crítica. Só ocorre quando a altura dos edifícios é superior a 15 metros, a proporção entre os braços coletores do funil e a sua largura de saída obedece condições específicas, e ainda se não houverem outras construções à montante e à jusante do conjunto coletor (funil).

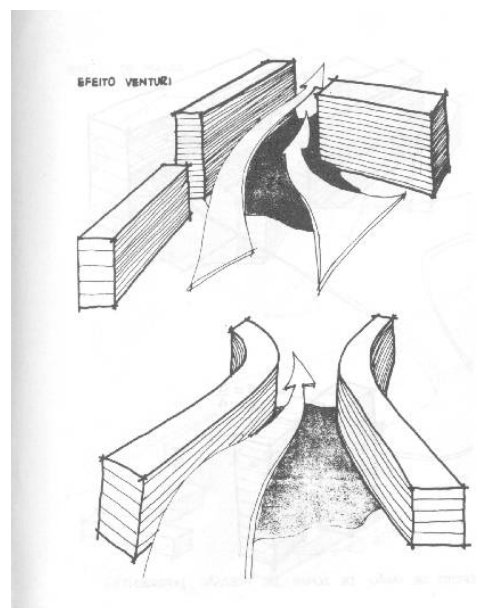


Figura 11 – Efeito Venturi

- Efeito de barra: Mudança de direção em espiral do escoamento quando da passagem deste por uma barreira a uma incidência próxima a 45° . Para que ocorra este efeito algumas condições específicas dos edifícios devem existir. São elas: $h < 25$ metros (onde h = altura), $c \geq 8h$ (onde c = comprimento da barreira) e ainda $d < h$ (onde d = distância entre blocos consecutivos e alinhados).

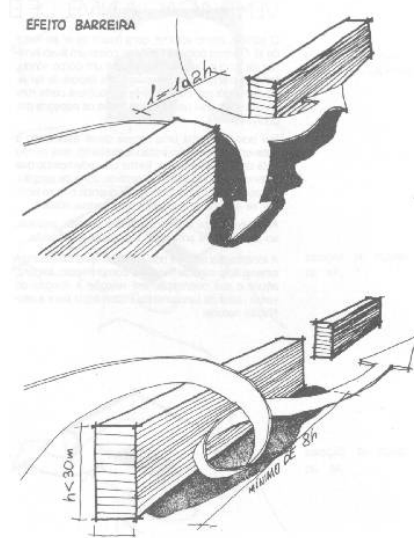


Figura 12 – Efeito de barra

- Efeito de canalização: O escoamento acontece através de um corredor a céu aberto formado por edifícios em seqüência, formando uma calha que obedece condições tais que $d \leq e$ (onde d = distância entre blocos e e = dimensão da base a barlavento), $d' < 2h$ (onde d' = dimensão da entrada da calha e h = altura média da calha) e $h \geq 6$ metros.

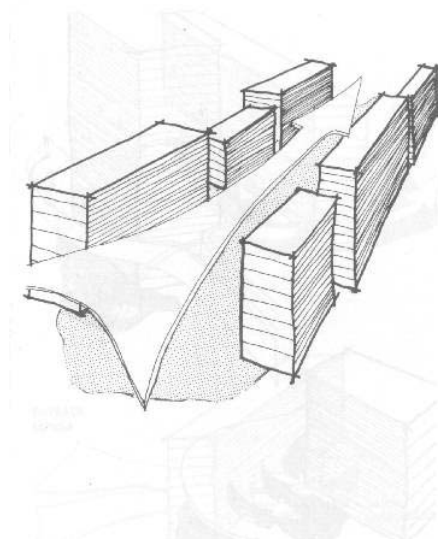


Figura 13 – Efeito de canalização

- Efeito de malha: Ocorre quando os edifícios se agrupam formando um pátio central. Para que o efeito ocorra, $h > e$ (onde h = altura e e = dimensão da base a barlavento) e $b \leq p$ (sendo b = abertura de entrada e p = perímetro do pátio).

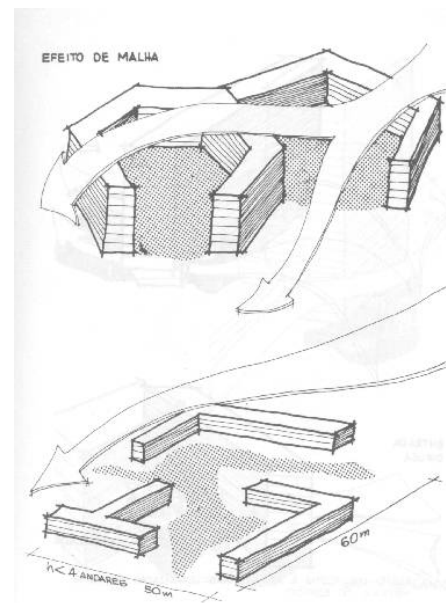


Figura 14 – Efeito de malha

- Efeito pirâmide: Escoamentos em torno de um conjunto de edifícios agrupados em forma piramidal.

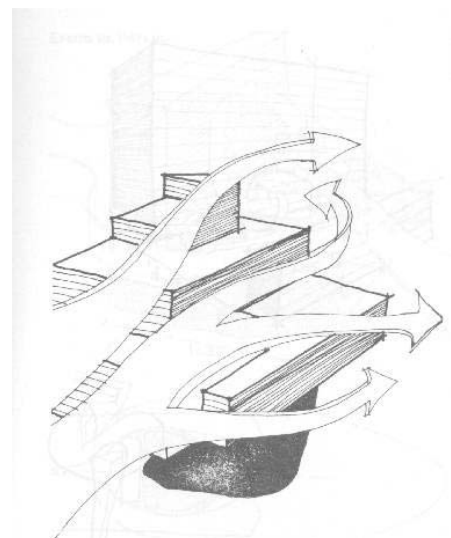


Figura 15 – Efeito pirâmide

2.4 DISCIPLINAMENTO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

O disciplinamento do uso e ocupação do solo compete, de forma geral, aos três níveis de governo (federal, estadual e municipal) e em conformidade com a Constituição Federal, no seu art. 30, é da competência dos municípios suplementar a legislação federal e a estadual no que couber; promover adequado ordenamento territorial, mediante planejamento e controle do uso, do parcelamento e da ocupação do solo urbano e ainda promover a proteção do patrimônio histórico-cultural local, observada a legislação e a ação fiscalizadora das esferas federal e estadual.

Um grande marco da participação de entidades civis e de movimentos sociais visando a busca de uma vida urbana digna para todos os cidadãos que habitam as cidades brasileiras, garantindo às pessoas o direito à cidade, à habitação e a serviços públicos de qualidade, foi a inclusão na Constituição Federal dos artigos 162 e 163 que compõem o capítulo da Política Urbana.

Onze longos anos de discussões e tramitação legislativa foram necessários para a construção do Estatuto da cidade (Lei nº 10.257/2001), durante os quais se evidenciaram diversos conflitos de interesses sobre o destino das cidades brasileiras. Este estatuto, congrega diversos instrumentos legais (urbanísticos, tributários e jurídicos) que objetivam assegurar a efetividade do Plano Diretor, este instrumento básico da política de desenvolvimento e expansão urbana que é obrigatório para as cidades com população superior a vinte mil habitantes.

Para um melhor entendimento, a Lei nº. 10.257 de 10 de julho de 2001 – Estatuto da Cidade – vem regulamentar os artigos 182 e 183 da Constituição Federal de 1988, que conformam o capítulo referido anteriormente, relativo à Política Urbana.

Certamente, o Poder público municipal se encontra em uma situação de proximidade ao cidadão e aos problemas por ele vividos bem maior do que as outras esferas de governo

(estadual e federal), facilitando a articulação entre os segmentos formadores da sociedade local, o que justifica a sua ampla competência quanto ao disciplinamento do uso e ocupação do solo urbano através de instrumentos como a definição de zoneamentos, o próprio controle do parcelamento do solo e ainda a fixação de parâmetros urbanísticos, entre eles: afastamentos, taxas de ocupação, índices de aproveitamento, dimensões mínimas para os lotes e taxas de permeabilidade do solo, entre outros.

As particularidades de cada cidade, com seus aspectos intrínsecos e sua dinâmica peculiar, exigem dos seus dirigentes uma constante preocupação com o processo de planejamento, ensejando revisões freqüentes dos seus Planos Diretores visando a sua adequação às mudanças ocorridas na realidade local, obviamente após avaliação conseqüente e responsável. A Lei do Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano, constante em um documento aprovado pelo Poder Legislativo municipal, deverá ser revista, no mínimo a cada dez anos. Ainda outras Leis são consideradas primordiais, segundo Mota (1999), e se congregam ao Plano Diretor na tarefa de fazer cumprir a Constituição Federal. São elas:

- Lei Orgânica: Define as competências do Município, sua estrutura administrativa, , constituição e atribuições da administração municipal.
- Lei de Uso e Ocupação do Solo: Através do zoneamento, esta Lei ordena o uso e a ocupação do solo do Município.
- Lei do Parcelamento do Solo: Define as diretrizes para os projetos de loteamentos.
- Lei do Sistema Viário: Estabelece a hierarquia das vias, determina o sistema viário do Município ordenando a circulação no seu espaço interior.
- Código de Obras: Cuida do disciplinamento dos edifícios com o intuito de garantir as condições de saúde, conforto, higiene e segurança da população da cidade.

- Código de Posturas: Visa garantir condições de segurança, ordem pública e higiene para os espaços de uso público ou da coletividade.

2.4.1 DIRETRIZES URBANÍSTICAS LOCAIS

As diretrizes constantes no Plano Diretor da cidade de João Pessoa, servem de referência ao conjunto de Leis (Códigos de Urbanismo, de Obras e Edificações, de Posturas e de Defesa do Meio Ambiente) relativas às condições para o uso e ocupação do solo da área de estudo objeto desta pesquisa, e serão aqui expostas de forma sintética, visando esclarecer os parâmetros adotados em cada uma das ocupações utilizadas nos ensaios levados a cabo no túnel aerodinâmico, minudenciosamente descritos no capítulo 06.

De acordo com o zoneamento definido para a cidade, na área eleita para o presente estudo fazem-se presentes de forma mais significativa (aproximadamente 90% da área) as zonas ZA3 – Zona axial de Tambaú, ZT2 – Zona turística 2 e ZR1 – Zona residencial 1 , consideradas Zonas Adensáveis Prioritárias, por atenderem ao disposto no Artigo 11 do Capítulo I, Título II do Plano Diretor, que trata do uso e ocupação do solo:

- Art. 11. Zona Adensável Prioritária é aquela onde a disponibilidade de infraestrutura básica, a rede viária e o meio ambiente permitem a intensificação do uso e ocupação do solo e na qual o índice de aproveitamento único poderá ser ultrapassado até o limite de 4,0, e nos termos desta lei.

É fato ainda, que as edificações a serem implantadas no local devem se enquadrar nas restrições contidas no artigo 25 do Capítulo II, do mesmo Título anteriormente citado, com a seguinte disposição sobre a orla marítima:

- Art. 25. A restrição adicional da Orla Marítima visa a cumprir os Arts. 229 da Constituição Estadual e 175 da Lei Orgânica para o Município de João Pessoa, quanto à altura máxima das edificações situadas em uma faixa de 500 metros ao longo da orla e a partir da linha de testada da primeira quadra da orla em direção ao interior do continente, cujo cálculo será efetuado da seguinte forma:

I – toma-se a distância que vai do ponto médio da testada principal do lote ou da gleba, ao ponto mais próximo da testada da primeira quadra contígua à orla marítima e mais próxima a ela;

II – a altura máxima da edificação, medida a partir da altura da linha do meio-fio da testada do imóvel até o ponto mais alto da cobertura, será igual 12,90 metros, mais a distância calculada no inciso anterior, vezes 0,0442.

O perfil mostrado na Figura 16, mostra o escalonamento em altura das edificações calculados da maneira anteriormente descrita.

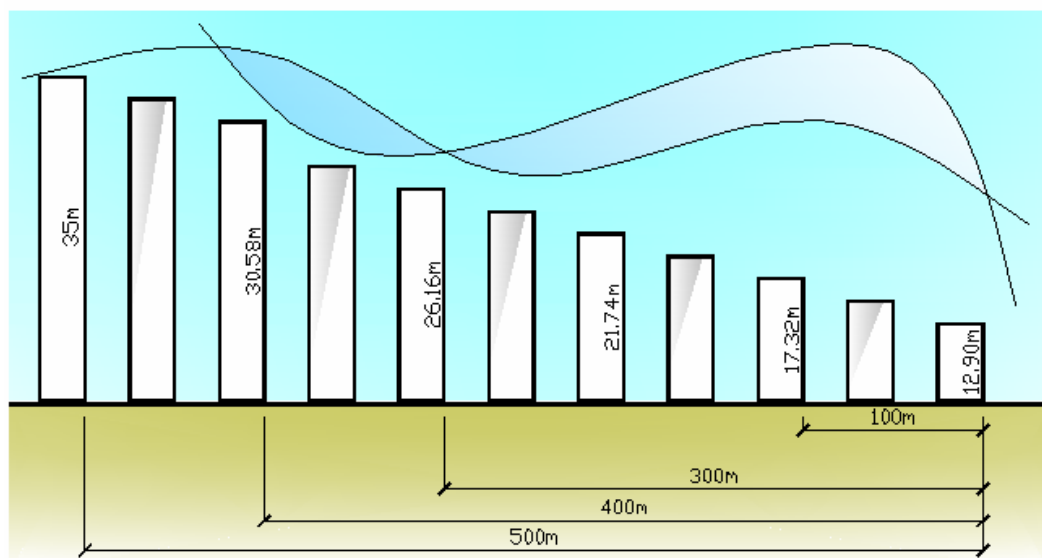


Figura 16 – Escalonamento na faixa dos 500 metros

As tabelas informativas com os indicadores urbanísticos para o uso e ocupação do solo, conforme o zoneamento da cidade para a área estudada, podem ser verificadas na íntegra no Anexo B.

3.METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido e encontra-se dividido em cinco etapas arranjadas com a seguinte disposição:

ETAPA 01- Nesta etapa, foi processado o levantamento físico da área buscando o seu conhecimento pormenorizado. Para tanto, foram digitalizados os dados de cartas planimétricas cedidas pelo INTERPA; cartas estas resultantes de levantamentos aerofotogramétricos que utilizaram como base fotografias aéreas na escala de 1/40.000, captadas com câmera cartográfica grande angular ($f=151.79$) em vôos realizados entre março e junho de 1985. Foram ainda levantados dados relativos à velocidade e direção de vento.

Medições de campo foram feitas, com o intuito de conhecer mais refinadamente as condições reais de ventilação da área.

Um levantamento fotográfico foi realizado, seguindo-se da atualização do padrão de ocupação do solo, em planta, servindo de base para a construção do mapa de rugosidade do local.

ETAPA 02- Foi realizado o modelamento tridimensional virtual da área, em sistema CAD, embasado nos levantamentos e documentação anteriormente comentados, objetivando uma melhor compreensão da rugosidade característica do sítio, e ainda servindo como auxílio visual na fase que se segue.

A fase seguinte iniciou-se com a construção da maquete física da área, em escala compatível com a do túnel aerodinâmico utilizado nos ensaios posteriores. Esta maquete reproduziu em escala reduzida, as condições de ocupação do solo e padrão construtivo

correspondentes às situações a serem ensaiadas, respeitando dimensões e blocos de edificações pretendidos.

ETAPA 03- Nesta etapa foram efetivados os ensaios simulando as situações objetivadas, submetendo-se então tal maquete a ação do túnel aerodinâmico, inicialmente para a obtenção dos perfis de velocidade, e em seguida, fazendo uso da técnica das figuras de erosão de areia.

ETAPA 04- Procedeu-se a digitalização em sistema CAD das fotografias obtidas durante os ensaios realizados no túnel aerodinâmico.

ETAPA 05- Esta etapa foi destinada à sistematização, avaliação e discussão dos resultados obtidos nas etapas anteriores e ainda às conclusões advindas destes.

4.UNIVERSO DE ANÁLISE

Fazendo parte do grupo de 09 Estados que compõem a região Nordeste do Brasil, a Paraíba, embora possuindo dimensões territoriais reduzidas, tal que toda a sua área poderia ser inscrita em um retângulo de 443 km por 263 km de lados, apresenta características bastante diversificadas de relevo, clima e vegetação.(Figura 17).



Figura 17 – Mapa do Nordeste

Geograficamente situada entre os meridianos de 34° 45' 54'' e 38° 45'54'' de longitude oeste e entre os paralelos de 6° 02' 12'' e 8° 19'18'' de latitude sul, a Paraíba localiza-se na porção oriental do Nordeste e tem o seu espaço físico definido segundo o IDEME pelos seguintes limites estaduais : Ao Norte com o Estado do Rio Grande do Norte; Pernambuco, ao Sul; Ceará, a Oeste; e a Leste com o Oceano Atlântico, onde está situado o ponto mais oriental das Américas (Ponta do Seixas). O Estado tem uma área de 56.584,6 Km², dos quais 48.502 Km² estão situados no semi-árido; distribuindo-se em 23 microrregiões, 4 mesorregiões, 12 regiões geoadministrativas, 223 municípios, sendo que 52 deles foram criados em 1996.

A Capital do Estado, fundada em 5 de agosto de 1585, foi batizada a princípio como Nossa Senhora das Neves. Posteriormente, recebeu o nome de Filipéia de Nossa Senhora das Neves, e finalmente aos 4 dias do mês de setembro de 1930, a Capital foi rebatizada com o seu nome atual em homenagem ao então Governador do Estado João Pessoa, assassinado em Recife neste mesmo ano.

Situada na porção oriental do Estado a 7° 08' de latitude sul e 34° 53' de longitude oeste, aparece entre as mais antigas cidades do País. Tem como limite ao norte o município de Cabedelo; ao sul o município do Conde; a leste tem como limite o Oceano Atlântico e a oeste limita-se com os municípios de Bayeux e Santa Rita. O município de João Pessoa conta hoje com uma área total de 210,45 Km², distribuídos entre os seus 64 bairros e suas áreas de preservação ambiental.



Figura 18 – Vista parcial da cidade de João Pessoa

A localização geográfica da cidade, aliada a fatores como os baixos índices de nebulosidade fazem com que a quantidade de horas anuais de insolação por ela recebidas seja bastante elevada, sobretudo entre os meses de setembro e janeiro. No mês de novembro o índice de insolação pode chegar a 275 horas de exposição à luz solar. Quanto à nebulosidade, esta apresenta uma grande variação entre céu claro e céu encoberto, atribuindo à cidade um índice de nebulosidade entre 4,0 a 6,5 graus numa escala de 0 a 10. (Gráfico 2).

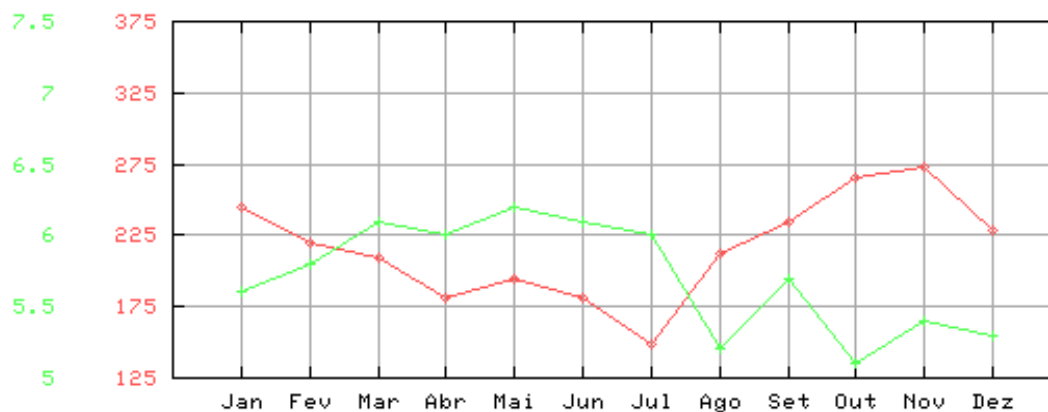
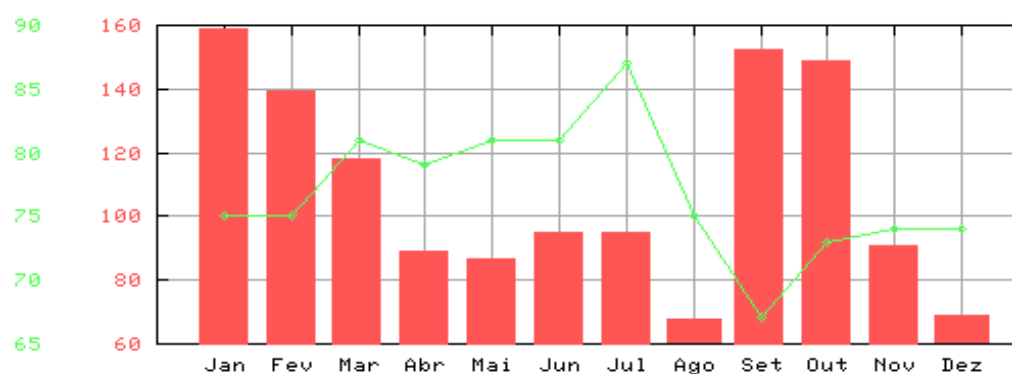


Gráfico 2 – Insolação e nebulosidade em João Pessoa

■ Insolação (H) em João Pessoa no período 1961-1990
■ Nebulosidade (décimo) em João Pessoa no período 1961-1990

Fonte: INMET

Somam-se a isto particularidades como o seu alto índice pluviométrico, e a elevada umidade relativa do ar, cuja média anual é de 80%; chegando a alcançar entre os meses de maio a julho o pico de 87%, caracterizando o “período das chuvas”. (Gráfico 3).

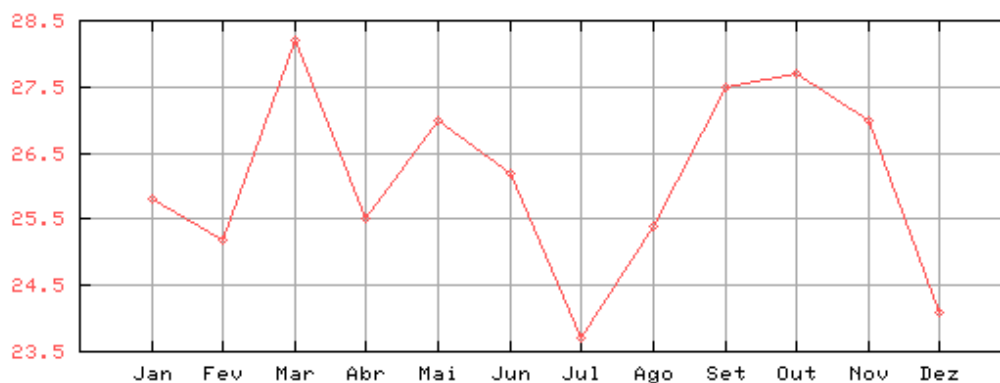


■ Evaporação (mm) em João Pessoa no período 1961-1990
■ Umidade (%) em João Pessoa no período 1961-1990

Gráfico 3 – Evaporação e umidade em João Pessoa

Fonte: INMET

Registra temperaturas médias anuais de 26° C, sendo que no litoral esta média é de 28° C. (Gráfico 4).



— Temperatura Média (°C) em João Pessoa no período 1961-1990

Gráfico 4 – Temperatura média em João pessoa

Fonte: INMET

São duas as estações do ano com ocorrência de chuvas, outono e inverno. Desta forma, segundo Köppen (1884), adaptado para os dias atuais, o seu clima pode ser classificado como sendo do tipo 3dth (Quadro 3), sendo denominado no Brasil como Mediterrâneo ou Nordeste seco.

Quadro 3 Dados característicos do Bioclima 3dth

Bioclima	Características do bioclima	Denominação no Brasil	TMA	Alt.	Lat.	Long.
3dth	Apresenta médias térmicas anuais em torno de 25° Totais pluviométricos anuais de 1000 a 2000mm na área do brejo e 1500 a 1700mm no litoral Umidade relativa do ar em torno de 80% A estação seca dura de 01 a 03 meses	Mediterrâneo ou Nordeste seco	25°	5m	7° 8' S	34° 53' W

Fonte: Atlas do Estado da Paraíba, 1985.

Paulo Sérgio Araújo Peregrino

PPGEU/UFPB

O mapa a seguir (figura 19), ilustra a distribuição das Regiões Bioclimáticas no Estado da Paraíba.

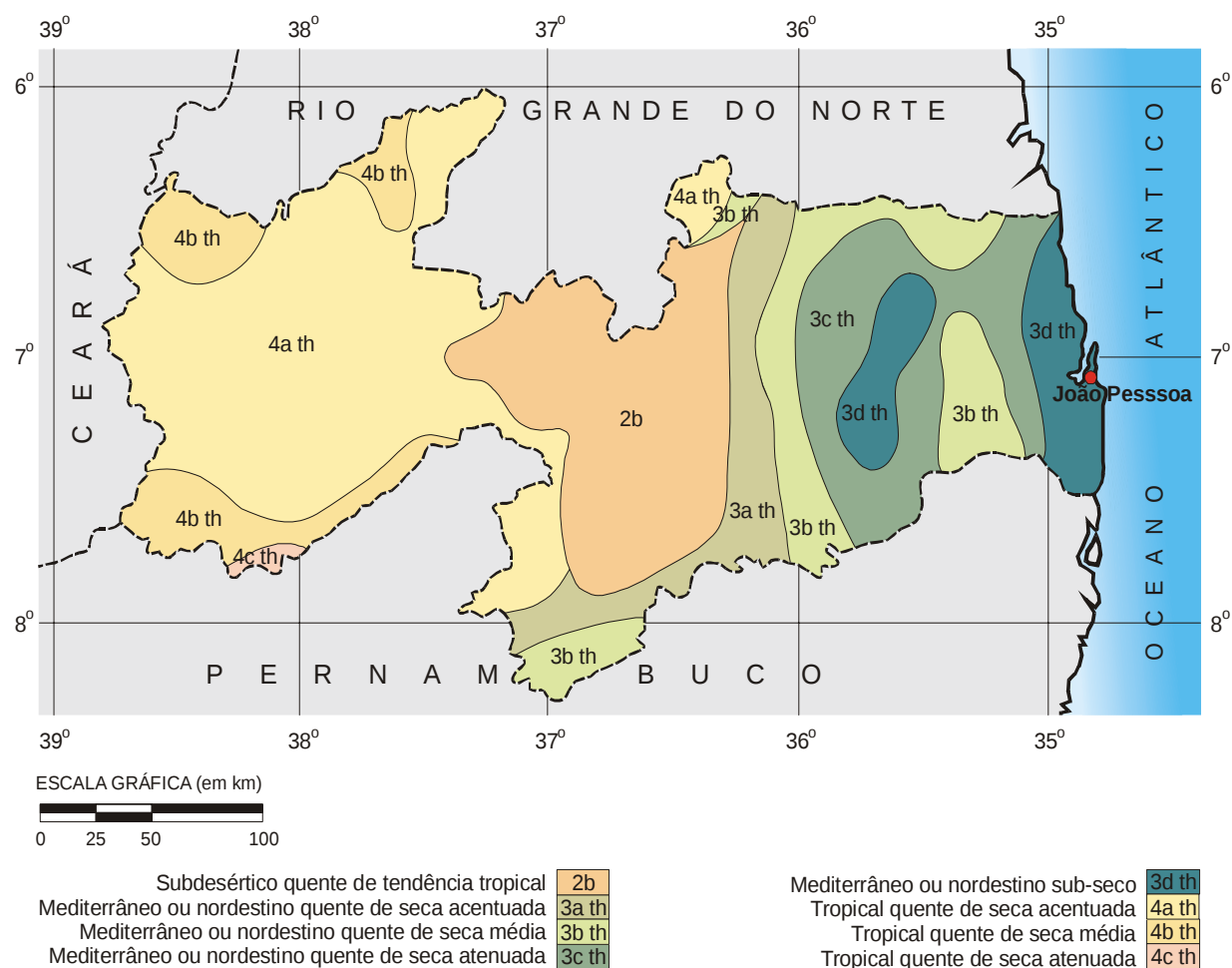


Figura 19 - Regiões Bioclimáticas segundo a classificação de Köppen.

Fonte: Atlas do Estado da Paraíba apud MORAES, 1999, p. 48.

O relevo da cidade caracteriza-se por apresentar terrenos de forma predominantemente plana, com altitudes médias de 37 metros, atingindo nas cercanias do rio Mumbaba a sua cota máxima de 74 metros de altitude em relação ao nível do mar.

4.1 DELIMITAÇÃO DO UNIVERSO DE ANÁLISE

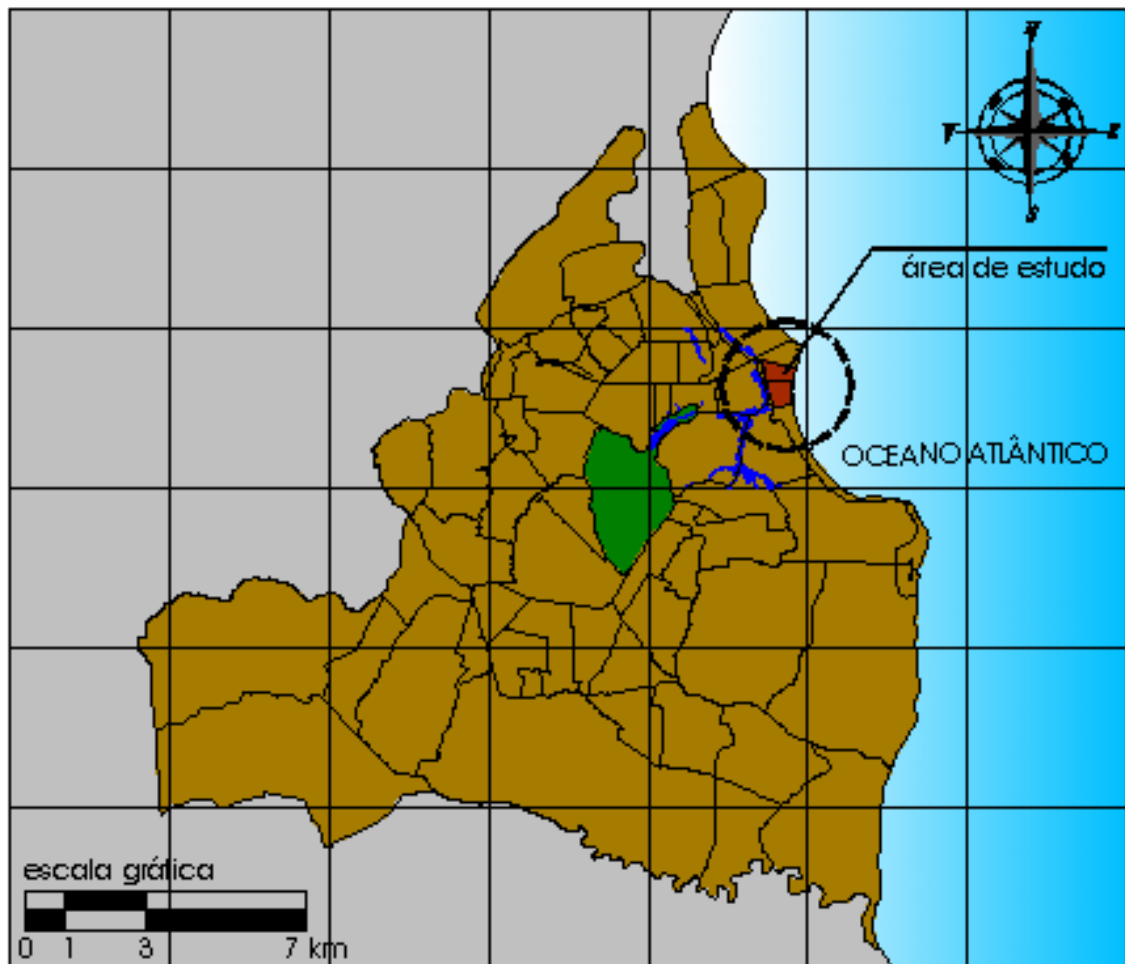


Figura 20 - Planta da cidade de João Pessoa

A área objeto do estudo encontra-se situada nas praias do Cabo Branco e de Tambaú. Limita-se a Norte com a Rua Helena Meira Lima, a Sul com a Rua Monsenhor Odilon Coutinho (final da Avenida Beira Rio), a Leste pela Avenida Cabo Branco/Avenida Almirante Tamandaré e a Oeste com a Avenida Paulino Pinto, constituindo uma poligonal de

748.318,44m², onde estão inseridas 49 quadras urbanas com características de uso do solo predominantemente residencial. Figura 21.

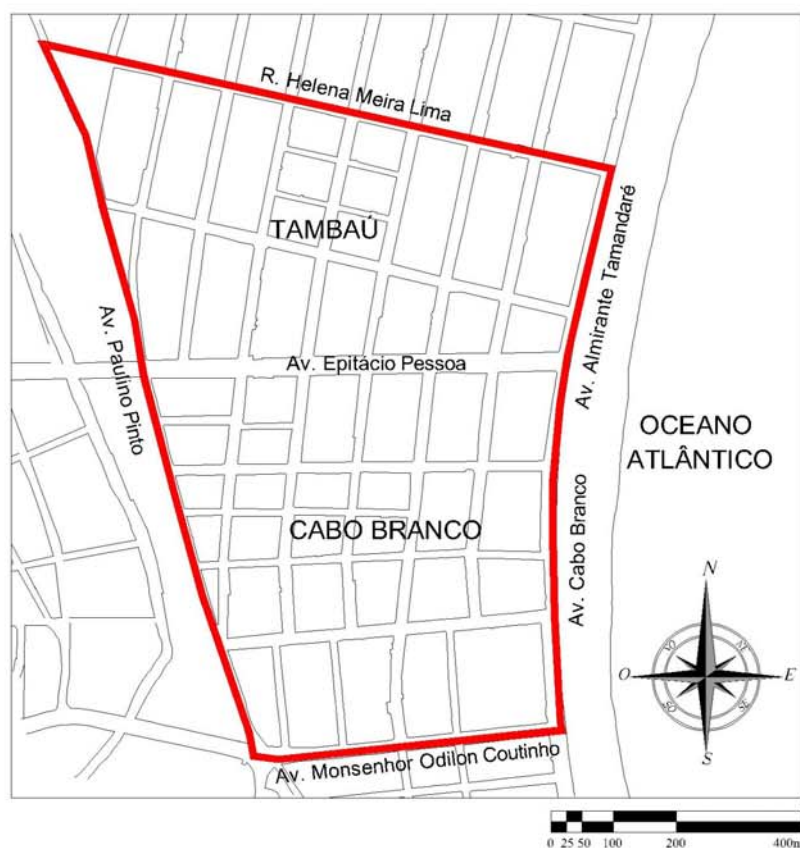


Figura 21 – Planta da área de estudo.

Tabela 10 – Dados sobre a área de estudo.

DADOS SOBRE A ÁREA	
ÁREA TOTAL	748.318,44 m ²
ÁREA DAS QUADRAS	464.034,80 m ²
ÁREA SISTEMA VIÁRIO	192.969,34 m ²
NÚMERO DE QUADRAS	49
NÚMERO DE LOTES	758

A topografia da área de estudo não apresenta variações significativas nos valores das suas cotas altimétricas, estando quase toda ela à cota de 5 m em relação ao nível do mar. Diferenças mais expressivas no relevo local são notadas mais a Oeste, com valores mais baixos para as cotas à medida que se aproxima o vale do rio Jaguaribe. A partir deste, em direção a oeste, o relevo passa a apresentar cotas mais elevadas, estabelecidas por falésias mortas, que se estendem ladeando o rio Jaguaribe com alturas que superam os 30 m. (Figura 22).

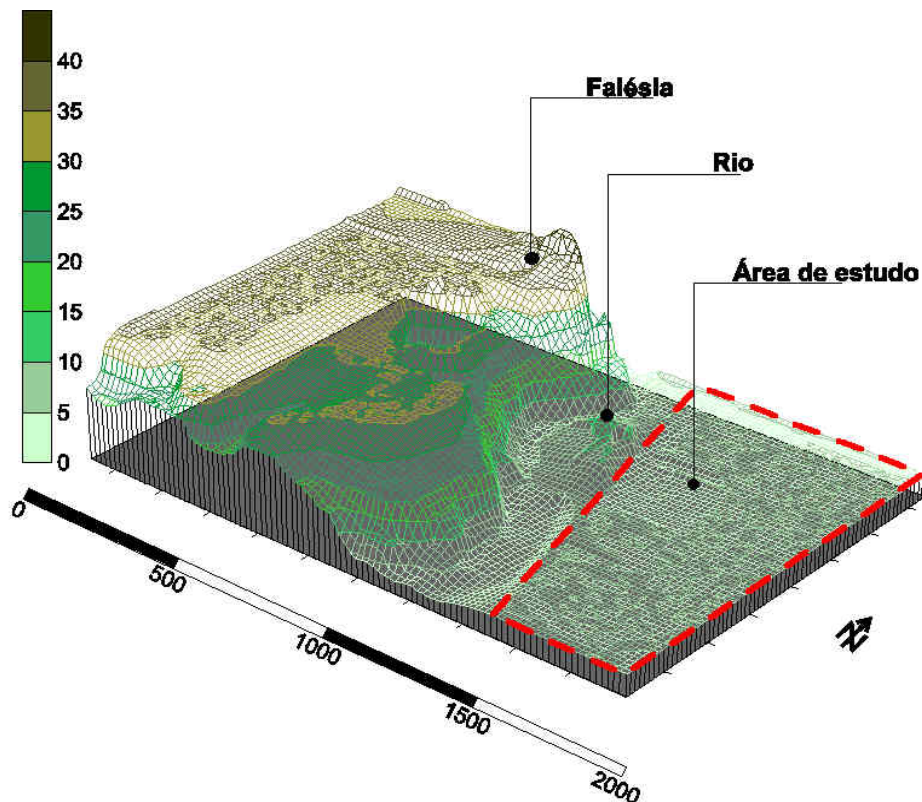


Figura 22 – Topografia da área de estudo.

A escolha de tal sítio urbano consolidou-se pelo fato do mesmo se apresentar em fase inicial de um processo de verticalização das novas edificações ali implantadas, possibilitando uma avaliação do comportamento dos ventos frente à ocupação permitida pela legislação vigente e ainda a simulação de novas ocupações considerando parâmetros distintos.

Figura 23 - Foto da área de estudo.



5. EXPERIMENTOS EM TÚNEL AERODINÂMICO

O desenvolvimento físico dos centros urbanos caminha, via de regra, para maiores adensamentos de edificações bem como para uma crescente verticalização destas, o que requer dos planos diretores uma maior preocupação com os fatores climáticos e de higiene do ar nas cidades Zenger (1996).

A inserção no espaço urbano de massas edificadas com alturas que excedem a média do gabarito predominante neste tecido, quer sejam de forma isolada ou agrupadas, alteram as suas características, comprometendo a manutenção, entre outros, da ventilação, do conforto devido ao vento, do conforto devido ao clima e da eficiência na dispersão de poluentes em uma menor escala. Em uma escala maior, a alteração das velocidades dos ventos intra-urbanos pode ocasionar um comprometimento do bem-estar e até mesmo da integridade física dos transeuntes.

Através de uma representação bidimensional do campo de vento ao nível do solo do local, é possível identificar pontos expressivos no que concerne aos perfis de velocidades da área, permitindo a determinação das áreas críticas onde as velocidades do vento se apresentam de forma muito elevada ou reduzida. A identificação destes pontos, assegura condições de fidedignidade para uso destes dados no presente trabalho, bem como segurança para futuras medições que servirão de suporte para o desenvolvimento de futuros trabalhos relacionados ao comportamento do vento na área.

As experiências em túneis aerodinâmicos com modelos em escala reduzida, fazendo uso da *técnica das figuras de erosão* Janeiro e Saraiva (1980), Saraiva (1991), demonstram a possibilidade da representação bidimensional acima citada, permitindo além de uma visão global do aspecto qualitativo da área, a determinação das velocidades do vento, sejam elas bastante reduzidas ou elevadas ao nível do solo, em seus diferentes pontos.

De certo, para que os resultados de experimentos realizados em túneis aerodinâmicos de camada limite com modelos reduzidos possam ser adotados em escala natural, faz-se mister que estes se enquadrem em determinados parâmetros específicos de segurança Rockle (1990). Os dois principais norteadores para a garantia da validação dos resultados obtidos são: a semelhança geométrica entre o modelo ensaiado e o objeto real da pesquisa e a perfeita reprodução no túnel das condições de correntes encontradas no local estudado.

A condição da semelhança geométrica deve considerar a orografia e a rugosidade da área, reproduzindo fielmente os elementos tridimensionais encontrados no local em escala conveniente. Para que não ocorram alterações nas condições do escoamento, a escala adotada deve se encontrar no intervalo entre 1/300 e 1/2500. Ainda sobre este aspecto, Saraiva (1998) salienta que em determinados túneis, devem ser considerados valores críticos para o grau de obstrução do corte transversal do canal através dos obstáculos. Para que a corrente não sofra excessiva interferência devido ao estreitamento do túnel na seção que corresponde à sua câmara de testes, tais valores não devem ultrapassar a 7%.

Quanto à reprodução das condições de correntes, os padrões característicos de camada limite atmosférica devem ser, no modelo, análogos aos da área de estudo. Tal correspondência é obtida através de ajustes no túnel, onde o uso de números adimensionais garante a conformidade destas condições através de valores característicos e constantes semelhantes aos naturais. São adotadas grandezas referenciais como U e L , respectivamente a velocidade no extremo superior da camada limite e o gabarito em altura das edificações, ou ainda, a altura desta camada limite.

5.1 TÉCNICA DE EROÇÃO DE AREIA (saltação de grãos)

A técnica das figuras de erosão se baseia no pressuposto de que uma camada fina de partículas espalhadas uniformemente em uma superfície plana, submetida a uma velocidade de escoamento exterior suficientemente elevada, sofrerá, devido à distribuição de pressão sobre estas partículas, o fenômeno da saltação. Tal fenômeno, será observado então para uma velocidade do vento incidente U , tal que a força de sustentação L seja maior que o peso $P=mg$, onde m é a massa do grão e g a constante gravitacional. Sendo assim, é possível concluir que propriedades do fluido como a sua massa volúmica e viscosidade, bem como a massa específica e o diâmetro das partículas utilizadas e ainda a constante gravitacional, são preponderantes na ocorrência da saltação.

A saltação, enquanto fenômeno, pode ser representada segundo a Análise Dimensional pelos coeficientes Fr_{sal} de saltação e $Re_{u\tau}$ assim definidos:

$$Fr_{sal} = \frac{\rho u_{\tau}^2}{\rho_s g d}$$

$$Re_{u\tau} = \frac{u_{\tau} d}{\nu}$$

Onde Fr - número de Froude

ρ - massa volúmica do ar (Kg/m³)

ρ_s - massa volúmica da areia

u_{τ} - velocidade de atrito (m/s)

g - aceleração gravítica (m/s)

d - diâmetro dos grãos de areia (m)

Re - número de Reynolds

ν - viscosidade cinemática

Sendo u_{τ} a velocidade de atrito, e posto que a mesma é similar em ordem de grandeza às velocidades que ocorrem ao nível do solo, esta foi considerada e define-se da seguinte forma:

Onde τ_w - tensão de corte na parede (Pa)

$$u_{\tau} = \sqrt{\frac{\tau_w}{\rho}}$$

Considerando o ar como sendo o fluido utilizado e que as partículas anteriormente citadas sejam de areia, Janeiro e Saraiva (1980), obtiveram resultados em seus experimentos com a utilização de grãos de areia de seis diferentes granulometrias ($0,15 < d < 0,6 \text{ mm}$) espalhadas sobre uma superfície de madeira plana, em finas camadas de grãos com espessura entre 5 a 9 mg/mm^2 , que demonstram a relação entre Fr e Re .

Quando a superfície recoberta pelos grãos de areia é submetida a uma determinada velocidade de escoamento exterior, surgem áreas de erosão como resultado da saltação ou do arrasto. Mantendo-se a velocidade constante por um dado intervalo de tempo, as figuras de erosão formadas apresentarão fronteiras de contornos claramente definidos, onde o coeficiente Fr atinge o valor máximo para a saltação dos grãos.

Para os experimentos apresentados neste trabalho, foi empregada a técnica de Erosão de Areia considerando a orografia e a rugosidade do terreno e utilizando areia peneirada, com granulometria de 0,3 mm (peneira 50 da série ASTM). A adoção desta técnica, permitiu a detecção das regiões críticas ou abrigadas, com base no traçado das isolinhas de módulo de velocidade adimensionalizada, para a totalidade da área ensaiada.

5.2 CONFIGURAÇÕES DE OCUPAÇÃO DO SOLO

Para que o modelo a ser utilizado nos ensaios em túnel aerodinâmico pudesse reproduzir com segurança as situações pretendidas na pesquisa, foram obedecidos os critérios de semelhança anteriormente relatados. Sendo assim, para a execução da maquete da área objeto do estudo foi utilizada a escala de 1/750, garantindo a turbulência dos escoamentos (números de Reynolds suficientemente elevados), sendo ainda facilmente integrada à câmara de testes do túnel aerodinâmico do Centro de Metrologia de Fluidos (CMF) do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), cujas características são apresentadas no quadro a seguir.

Quadro 4 – Características do Túnel Aerodinâmico do IPT.

Túnel Aerodinâmico CMF/IPT	
Características da seção de testes	
Comprimento	28,30 metros
Largura	3,0 metros
Altura	2,0 metros
Velocidade máxima	25 m/s
Potência do ventilador	200 CV

Como a seção transversal da câmara de ensaio mede 3,00 x 2,00 m (respectivamente, largura e altura), a área ocupada pelo modelo em relação a esta seção foi inferior a 7%, o que assegurou que fenômenos de blocagem não se fariam presentes.

A maquete utilizada durante os ensaios no túnel aerodinâmico teve a sua base executada em placas de compensado de madeira e espuma de poliuretano, sendo recoberta posteriormente com uma fina camada de massa acrílica, conferindo resistência e uniformidade ao relevo modelado, criando assim uma superfície suficientemente lisa, adequando-se às necessidades da técnica de erosão de areia.

A representação física dos padrões de ocupação do solo urbano utilizados nos ensaios, deu-se através de prismas confeccionados em Medium Density Fiberboard (MDF) natural, reproduzindo a volumetria básica das edificações em questão, excetuando-se os detalhes que na escala utilizada teriam a sua execução impossibilitada. Os prismas foram colados posteriormente um a um sobre a base da maquete, constituindo cada um dos quatro padrões de adensamento utilizados nos ensaios; a maquete por sua vez, foi fixada à mesa móvel existente no piso da câmara de testes do túnel.

No túnel aerodinâmico foram realizados treze ensaios; cinco deles de camada limite atmosférica, onde o rumo de vento incidente adotado foi de 90 graus, e outros oito de erosão, onde foram utilizados dois rumos de vento incidente diferenciados, respectivamente de 90 e 150 graus, fazendo uso dos quatro padrões de adensamentos reproduzidos na maquete. Os dois rumos de vento foram adotados tomando como base frequências e direções constantes na rosa dos ventos estabelecida para a cidade de João Pessoa apresentada no Capítulo 2.

Primeiramente, para fins de calibragem, foi feita a identificação da interferência do modelo nas características do escoamento do túnel (escoamento não perturbado). Foi medido o perfil de velocidades do tipo camada limite atmosférica na ausência da maquete, com o auxílio de um tubo de Pitot Prandtl (diâmetro 3mm) acoplado ao braço mecânico de um robô no interior do túnel, que de forma simultânea, transferia para um computador na cabine de comando todos os dados registrados pelo equipamento, posicionado no início da zona de experimentos e em seguida na área correspondente ao centro da maquete. Vale salientar que este ensaio não foi considerado na quantificação acima apresentada pelo fato de que este se destina basicamente ao ajuste das condições do túnel aerodinâmico.

Na sequência, a maquete foi ensaiada ainda sem qualquer adensamento, adotando-se para este caso o rumo de vento incidente de 90 graus, simulando apenas as características da orografia local, visando também a obtenção do perfil de velocidades do tipo camada limite atmosférica de campo aberto sob estas condições. Para obtenção dos valores de velocidade nesta situação, o equipamento (tubo de Pitot) foi posicionado horizontalmente sobre a maquete nos mesmos pontos utilizados para situação anterior (Figura 24), bem como repetiram-se as cotas altimétricas consideradas para todas as situações ensaiadas. Anexo C. Posteriormente foram realizados os ensaios obedecendo à ordem perfis de velocidade CLA/erosão de areia, para os quatro padrões de adensamentos utilizados na pesquisa, de forma sequencial, adotando-se para tal os rumos de vento incidentes já citados.

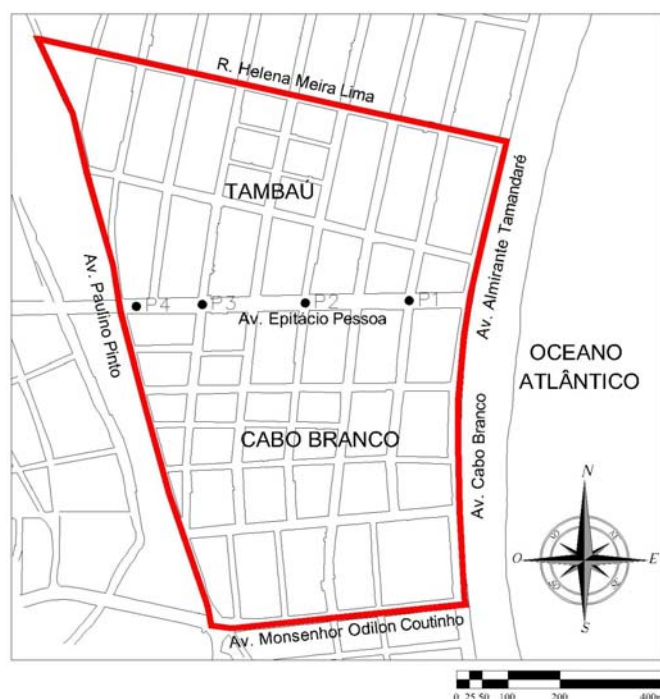


Figura 24 – Planta dos pontos de tomada de pressão CLA.

5.2.1 CARACTERÍSTICAS DOS ADENSAMENTOS

Em todos os adensamentos a seguir descritos, foram mantidos alguns edifícios já existentes, estes considerados significativos, ou seja, numa situação real de futura ocupação da área, tais edificações muito provavelmente não seriam demolidas para dar lugar a outras novas.

Todos os lotes foram lembrados respeitando-se as dimensões e condições de remembramento reais, tomando-se como base os remembramentos atualmente verificados no local, onde residências de no máximo dois pavimentos têm sido demolidas para dar lugar, na grande maioria das vezes, a edifícios de habitações multifamiliares, que passam a ocupar de dois a quatro lotes antes ocupados pelas residências.

Os rumos de vento adotados para os ensaios foram o de 90 graus, objetivando avaliar o nível de interferência da Falésia do Cabo Branco sobre os adensamentos ensaiados e o de 150 graus, por ser esta a direção que apresenta a maior frequência de ventos de acordo com a rosa dos ventos para a cidade de João Pessoa observada no Capítulo 2 (2.3.6 Formação dos ventos – em escala urbana).

ADENSAMENTO 01 (E2 e E3) – Reproduz fielmente a ocupação atual da área. A maior parte das edificações existentes apresenta uso residencial, obedecendo aos índices urbanísticos constantes na legislação em vigor (afastamentos, taxas de ocupação, índices de aproveitamento). O plano diretor da cidade estabelece para a área um escalonamento do gabarito em altura dos edifícios, desde a primeira avenida próxima ao mar, na direção oeste, conforme exposto no Capítulo 2 (2.4.1 Diretrizes urbanísticas locais). Já se fazem presentes na área diversos edifícios, sobretudo de uso residencial multifamiliar, com alturas variáveis, repetidas no modelo ensaiado. Tal densificação não se faz ainda tão perceptível dado o seu pouco adensamento, porém os afastamentos adotados aparentemente já comprometem a ventilação local.

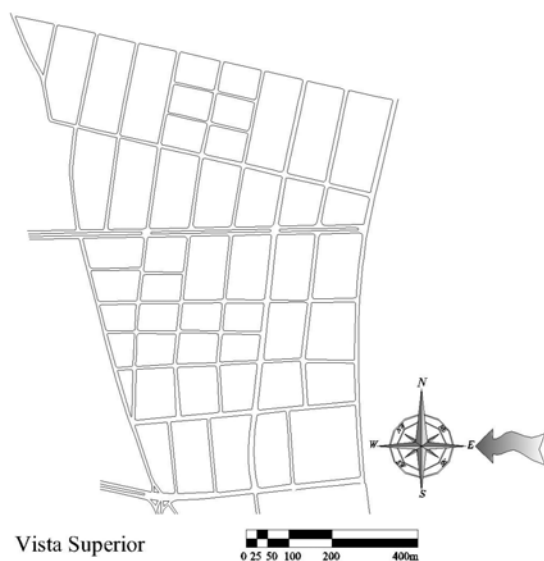
ADENSAMENTO 02 (E4 e E5) - Projeta um adensamento para a área fazendo uso da legislação hoje vigente. Foram lembrados diversos lotes de terreno, substituindo-se a ocupação atual (na sua maioria residências unifamiliares de 01 ou 02 pavimentos), por edifícios para habitações multifamiliares respeitando-se as taxas de ocupação dos lotes; índices de aproveitamento, afastamentos e escalonamento do gabarito em altura, em conformidade com a legislação em vigor. Em suma, este adensamento projeta uma das possibilidades de ocupação da área, simulando-a de maneira bastante realística.

ADENSAMENTO 03 (E6 e E7) - Simula a ocupação da área com edifícios de 17 pavimentos (altura de 51 m), respeitando-se apenas as taxas de ocupação, índices de aproveitamento e afastamentos exigidos pela atual legislação. Não foi respeitado em tal adensamento o escalonamento do gabarito em altura hoje adotado para a área.

ADENSAMENTO 04 (E8 e E9) - Ocupa a área de estudo também com edifícios de 17 pavimentos (51m), mais uma vez sem a adoção do gabarito em altura escalonado. Neste adensamento são propostos novos afastamentos entre os edifícios inseridos, respeitando-se a relação demonstrada neste capítulo (5.2.2 Afastamentos propostos). Da mesma forma que nos outros adensamentos, neste também foram feitos os remembramentos considerando-se as condições e configurações dos lotes existentes.

Outras características a respeito das configurações utilizadas nos ensaios efetivados no túnel aerodinâmico, podem ser vistas nas figuras (Fig. 26 a Fig. 34) das páginas que se seguem, onde são apresentados quadros-resumo, vistas superiores, perspectivas e perfis de cada uma das situações, possibilitando sua melhor compreensão.

CAMADA LIMITE ATMOSFÉRICA (E1)



CAMADA LIMITE ATMOSFÉRICA (E1)	
CAMADA LIMITE (TERRENO SEM OBSTÁCULO) RUMO DE VENTO A 90°	
ÁREA TOTAL	748.318,44 m ²
ÁREA DAS QUADRAS	464.034,80 m ²
ÁREA SISTEMA VIÁRIO	192.969,34 m ²
QUANTIDADE DE QUADRAS	49
QUANTIDADE ORIGINAL DE LOTES	758
QUANTIDADE DE LOTES PÓS-REMEMBRAMENTO	-
ÁREA DE PROJEÇÃO DOS EDIFÍCIOS	-
TAXA DE OCUPAÇÃO	-

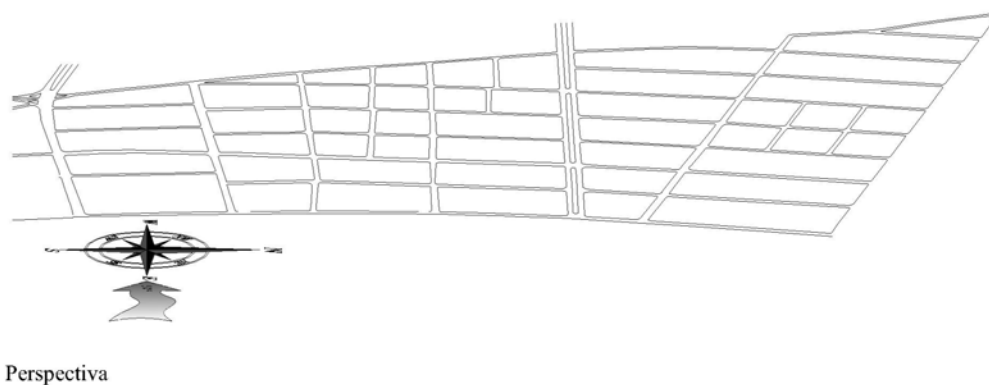
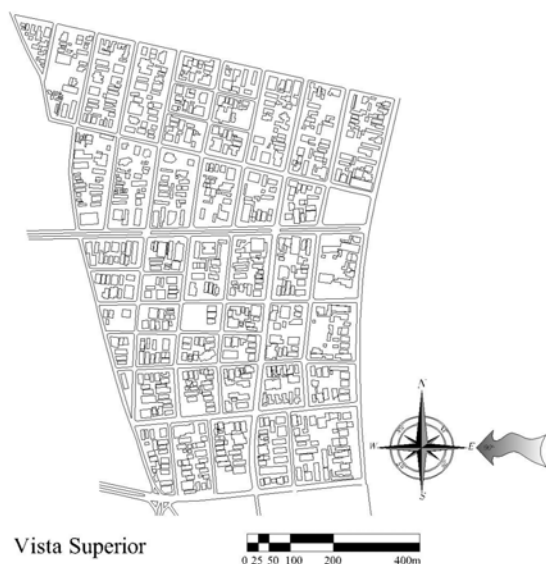


Figura 25. CLA – terreno sem obstáculo (E1)

ADENSAMENTO 01 (E2)

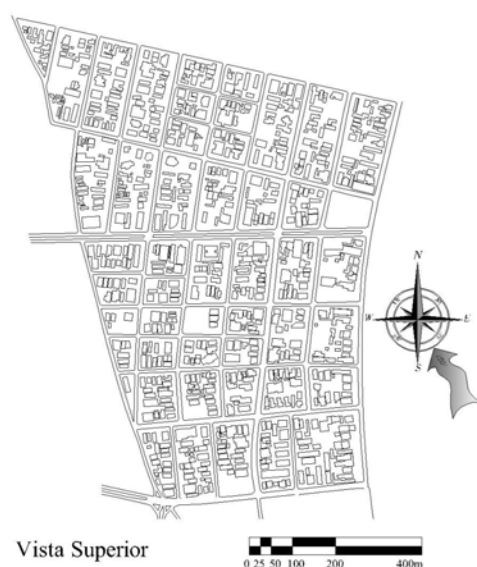


ADENSAMENTO 01 (E2)	
SITUAÇÃO ATUAL RUMO DE VENTO A 90°	
ÁREA TOTAL	748.318,44 m ²
ÁREA DAS QUADRAS	464.034,80 m ²
ÁREA SISTEMA VIÁRIO	192.969,34 m ²
QUANTIDADE DE QUADRAS	49
QUANTIDADE ORIGINAL DE LOTES	758
QUANTIDADE DE LOTES PÓS-REMEMBRAMENTO	-
ÁREA DE PROJEÇÃO DOS EDIFÍCIOS	201.880,41 m ²
TAXA DE OCUPAÇÃO	43,50%



Figura 26. Configuração do Adensamento 01 (E2)

ADENSAMENTO 01 (E3)

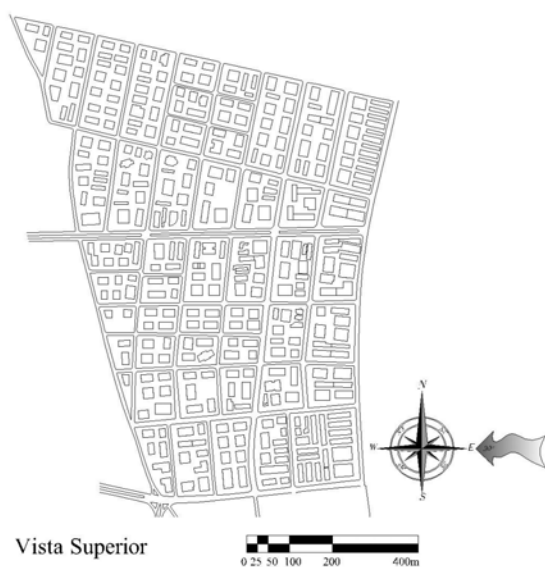


ADENSAMENTO 01 (E3)	
SITUAÇÃO ATUAL RUMO DE VENTO A 150°	
ÁREA TOTAL	748.318,44 m ²
ÁREA DAS QUADRAS	464.034,80 m ²
ÁREA SISTEMA VIÁRIO	192.969,34 m ²
QUANTIDADE DE QUADRAS	49
QUANTIDADE ORIGINAL DE LOTES	758
QUANTIDADE DE LOTES PÓS-REMEMBRAMENTO	-
ÁREA DE PROJEÇÃO DOS EDIFÍCIOS	201.880,41 m ²
TAXA DE OCUPAÇÃO	43,50%



Figura 27. Configuração do Adensamento 01 (E3)

ADENSAMENTO 02 (E4)



ADENSAMENTO 02 (E4)	
OCUPAÇÃO TOTAL DA ÁREA (LEGISLAÇÃO ATUAL + ESCALONAMENTO) RUMO DE VENTO A 90°	
ÁREA TOTAL	748.318,44 m ²
ÁREA DAS QUADRAS	464.034,80 m ²
ÁREA SISTEMA VIÁRIO	192.969,34 m ²
QUANTIDADE DE QUADRAS	49
QUANTIDADE ORIGINAL DE LOTES	758
QUANTIDADE DE LOTES PÓS-REMEMBRAMENTO	338
ÁREA DE PROJEÇÃO DOS EDIFÍCIOS	178.998,97 m ²
TAXA DE OCUPAÇÃO	38,57%

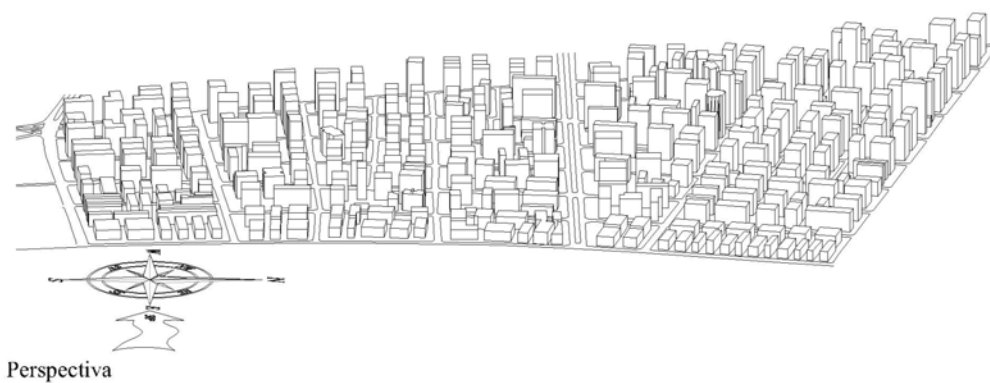
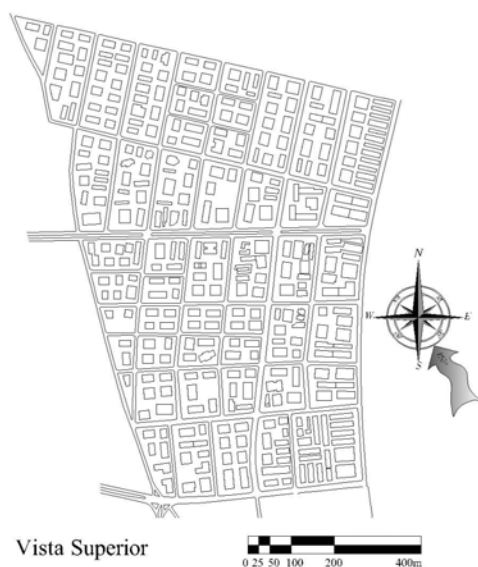
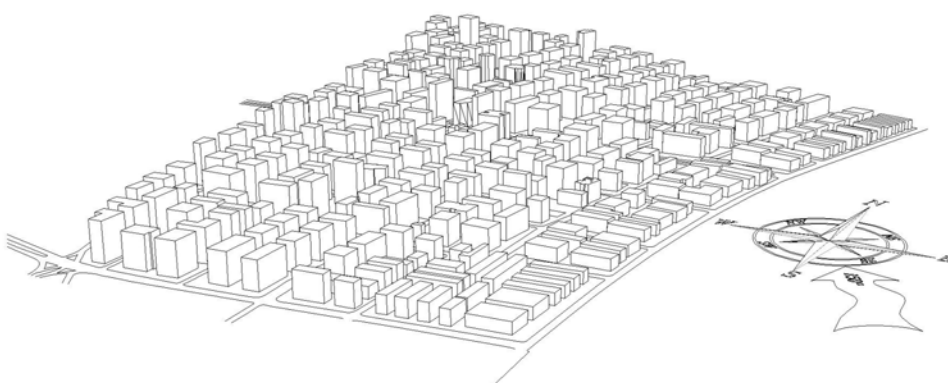


Figura 28. Configuração do Adensamento 02 (E4)

ADENSAMENTO 02 (E5)



ADENSAMENTO 02 (E5)	
OCUPAÇÃO TOTAL DA ÁREA (LEGISLAÇÃO ATUAL + ESCALONAMENTO) RUMO DE VENTO A 150°	
ÁREA TOTAL	748.318,44 m ²
ÁREA DAS QUADRAS	464.034,80 m ²
ÁREA SISTEMA VIÁRIO	192.969,34 m ²
QUANTIDADE DE QUADRAS	49
QUANTIDADE ORIGINAL DE LOTES	758
QUANTIDADE DE LOTES PÓS-REMEMBRAMENTO	338
ÁREA DE PROJEÇÃO DOS EDIFÍCIOS	178.998,97 m ²
TAXA DE OCUPAÇÃO	38,57%



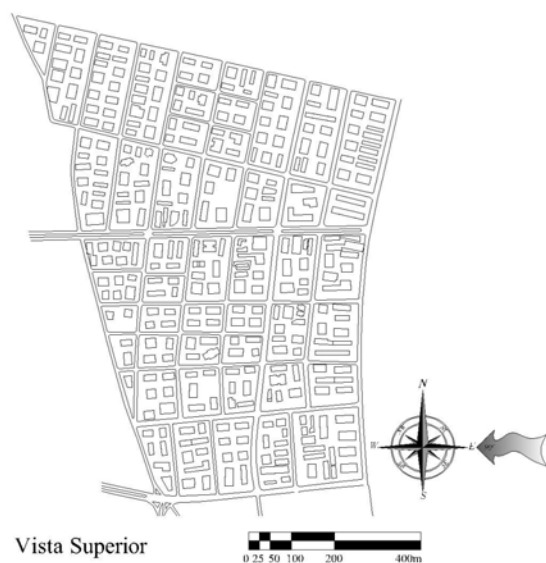
Perspectiva



Elevação Sul

Figura 29. Configuração do Adensamento 02 (E5)

ADENSAMENTO 03 (E6)



ADENSAMENTO 03 (E6)	
OCUPAÇÃO TOTAL DA ÁREA GABARITO 17 PAVIMENTOS (LEGISLAÇÃO ATUAL SEM ESCALONAMENTO) RUMO DE VENTO A 90°	
ÁREA TOTAL	748.318,44 m ²
ÁREA DAS QUADRAS	464.034,80 m ²
ÁREA SISTEMA VIÁRIO	192.969,34 m ²
QUANTIDADE DE QUADRAS	49
QUANTIDADE ORIGINAL DE LOTES	758
QUANTIDADE DE LOTES PÓS-REMEMBRAMENTO	338
ÁREA DE PROJEÇÃO DOS EDIFÍCIOS	155.271,77 m ²
TAXA DE OCUPAÇÃO	33,46%

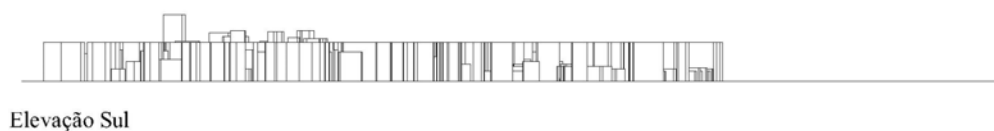
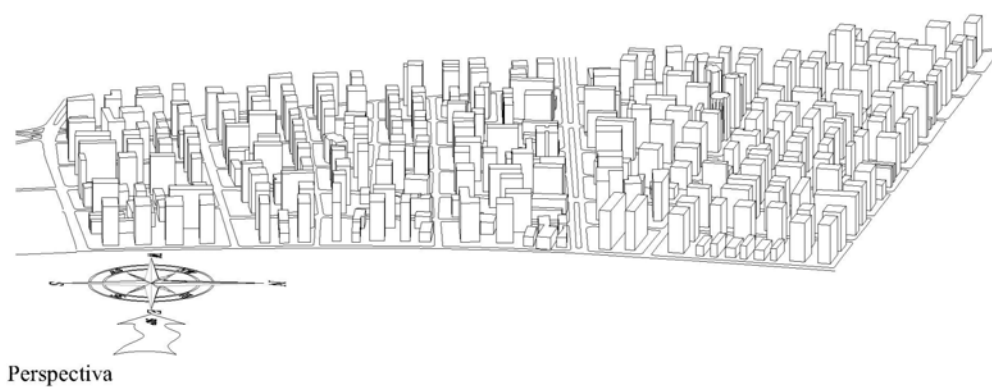


Figura 30. Configuração do Adensamento 03 (E6)

ADENSAMENTO 03 (E7)

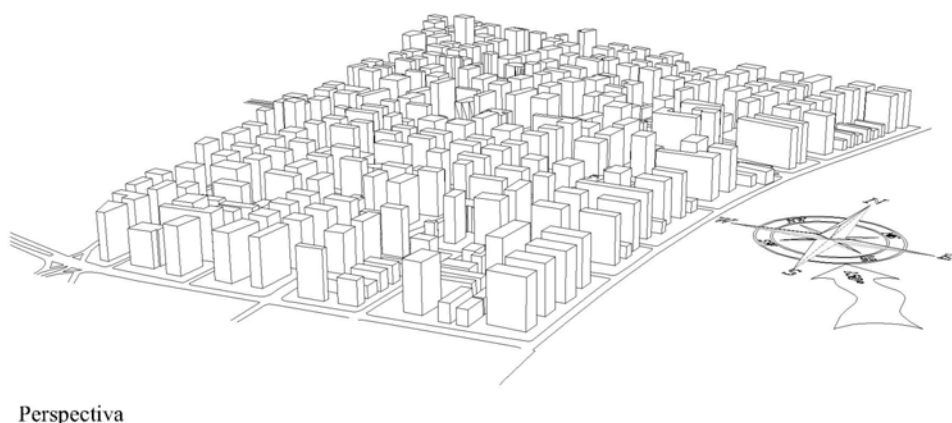
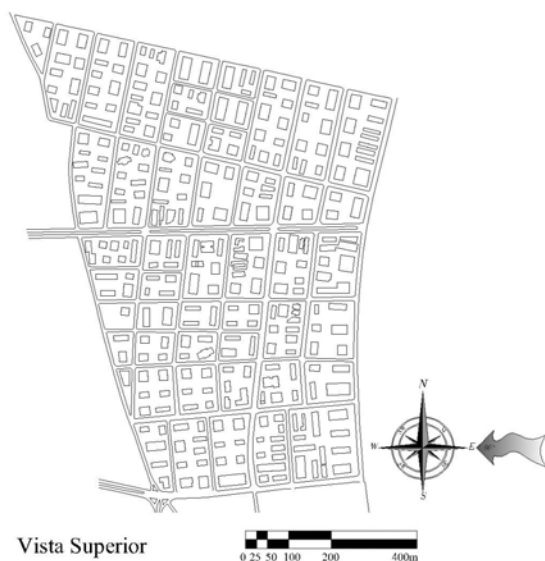


Figura 31. Configuração do Adensamento 03 (E7)

ADENSAMENTO 04 (E8)



ADENSAMENTO 04 (E8)	
OCUPAÇÃO TOTAL DA ÁREA GABARITO 17 PAVIMENTOS (AFASTAMENTOS PROPOSTOS SEM ESCALONAMENTO) RUMO DE VENTO A 90°	
ÁREA TOTAL	748.318,44 m ²
ÁREA DAS QUADRAS	464.034,80 m ²
ÁREA SISTEMA VIÁRIO	192.969,34 m ²
QUANTIDADE DE QUADRAS	49
QUANTIDADE ORIGINAL DE LOTES	758
QUANTIDADE DE LOTES PÓS-REMEMBRAMENTO	308
ÁREA DE PROJEÇÃO DOS EDIFÍCIOS	142.238,77 m ²
TAXA DE OCUPAÇÃO	30,65%

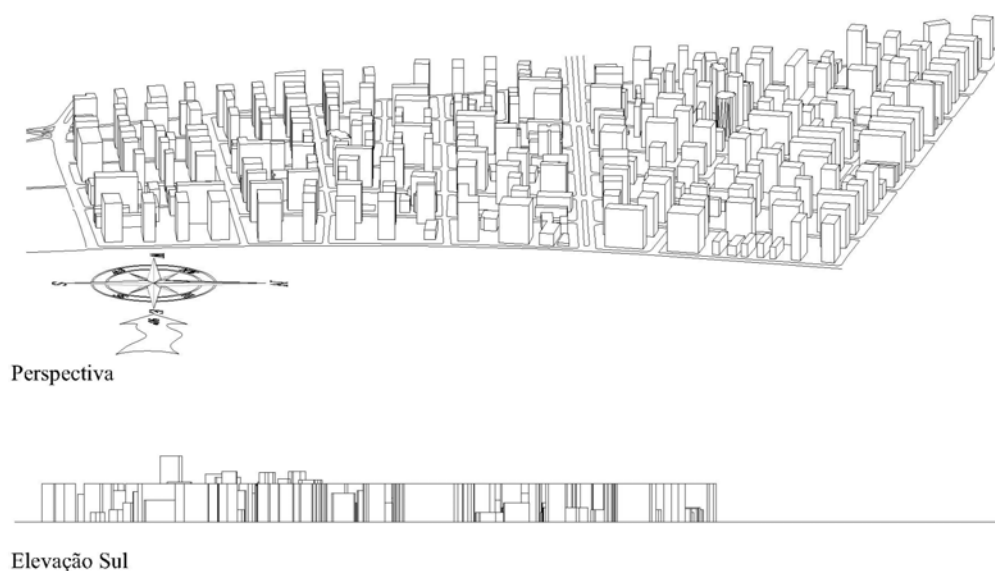


Figura 32. Configuração do Adensamento 04 (E8)

ADENSAMENTO 04 (E9)

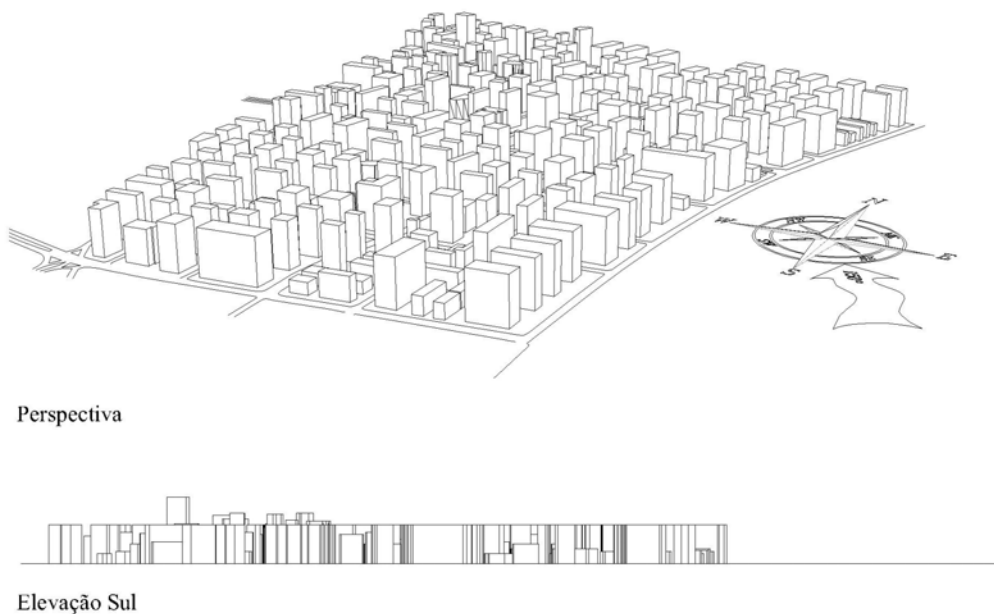


Figura 33. Configuração do Adensamento 04 (E9)

5.2.2 ESTUDO DOS AFASTAMENTOS

Para a efetivação dos ensaios em túnel aerodinâmico, a maquete foi ocupada com prismas em MDF representando os edifícios essenciais à simulação dos adensamentos propostos para a área de estudo. Cada uma das situações possui características específicas já descritas ao longo do trabalho, entretanto, faz-se imprescindível comentar aqui algumas particularidades relativas aos afastamentos utilizados em cada uma das situações ensaiadas.

No primeiro adensamento, que representa a ocupação atual da área, apenas se fez retratar a realidade, muito embora sejam perceptíveis desrespeitos quanto aos afastamentos e outros índices urbanísticos constantes na legislação. O adensamento 2, entretanto, por tratar-se de simulação de uma situação possível considerando-se a legislação estabelecida atualmente para a área, respeitou os afastamentos indicados para os diferentes usos dados ao solo do sítio em estudo. Como mencionado anteriormente, alguns edifícios da ocupação atual foram mantidos, uma vez que, pelas suas características de gabarito (mais de três pavimentos) e conservação, remota seria a possibilidade de que estes fossem demolidos para dar lugar a outros, sobretudo por questões de custo.

No adensamento 2, os lotes foram lembrados para que residências de 1 ou 2 pavimentos dessem lugar a edifícios de uso residencial R4 e R6, padrões característicos da maior parte dos novos edifícios em construção na área. Os afastamentos impostos na legislação para o uso R4 devem obedecer as seguintes características:

- Afastamento frontal de 5,00 m. O que determina uma distância entre blocos, considerando-se uma rua (faixa de rolamento + passeios = 12,00 m) de 22,00 m. (Figura 34).

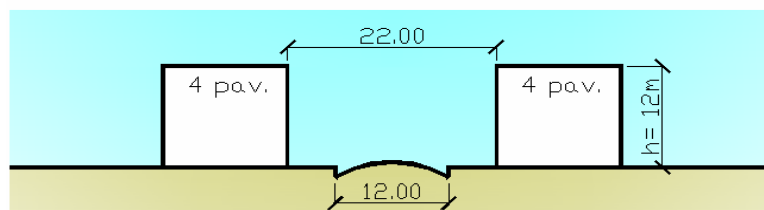


Figura 34 – Afastamento frontal para 04 pavimentos.

- Afastamento lateral de 4,00 m. O que garante entre edifícios um afastamento total de 8,00 m. (Figura 35).

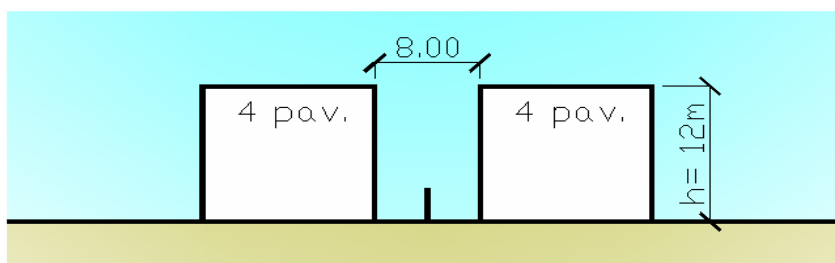


Figura 35 – Afastamento lateral para 04 pavimentos.

Quanto ao uso R6, reza a legislação que este deve obedecer os seguintes afastamentos:

- Afastamento frontal de 5,00 m, repetindo o estabelecido para o uso R4, conforme a figura a seguir.

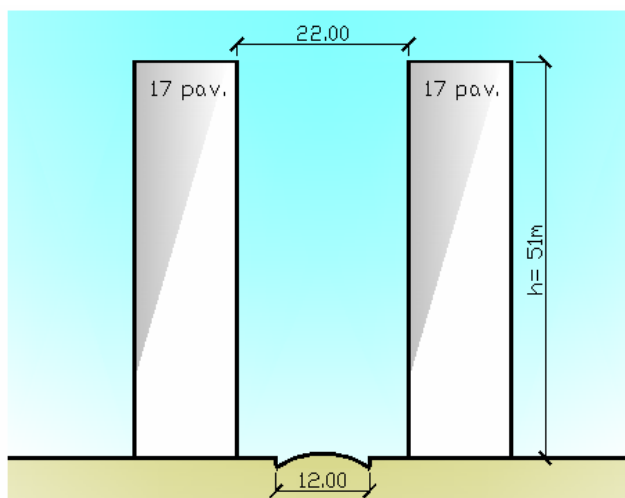


Figura 36 – Afastamento frontal para 17 pavimentos

- Afastamentos laterais (recoo progressivo) que obedecem à fórmula $RP = 4 + H/10$, onde 4 é uma constante e H corresponde à altura do edifício medida desde o primeiro até o último piso habitável. É válido salientar que a altura padrão adotada para os pavimentos dos blocos dos edifícios utilizados na maquete foi de 3,00 m. (Figura 37).

Observe-se que neste caso a relação existente distância entre blocos – altura do edifício é de 0,3 h.

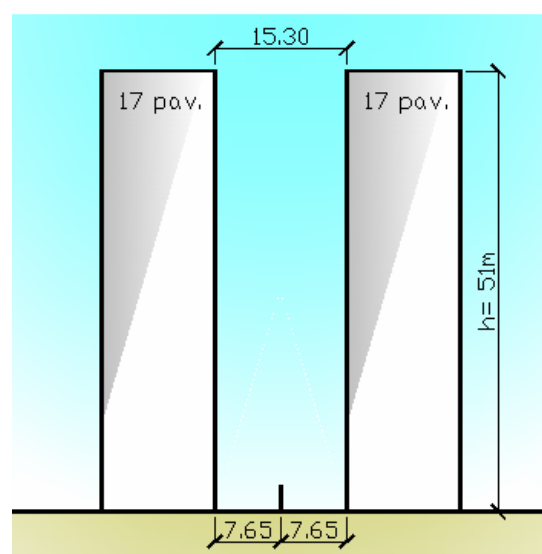


Figura 37 – Afastamento lateral para 17 pavimentos

Os afastamentos utilizados para o adensamento 2 obedeceram os índices urbanísticos anteriormente comentados, apesar da existência da Portaria 004/2001 (Anexo B), que flexibiliza todos os índices urbanísticos, tolerando uma redução de 10 % para os valores antes estabelecidos.

Para o adensamento 3, foram utilizados os mesmos afastamentos dos dois anteriores. Desta feita a área recebeu blocos de uso R6 e apenas não foi considerado o escalonamento do gabarito em altura, hoje obrigatório para os edifícios implantados dentro da faixa dos 500 m da orla marítima.

O adensamento 4, efetiva a ocupação de toda a área, excetuando-se aqueles edifícios que, pelas questões citadas anteriormente se mantiveram inalterados em todos os adensamentos, com prismas que de maneira similar ao adensamento 3, possuem 17 pavimentos de altura. Os afastamentos frontais mantiveram-se inalterados (5m), entretanto os afastamentos laterais propostos para esta configuração respeitam a seguinte relação: $D = 0,5h$, onde D é a distância entre blocos edificados e h corresponde à altura da edificação. (Figura 38).

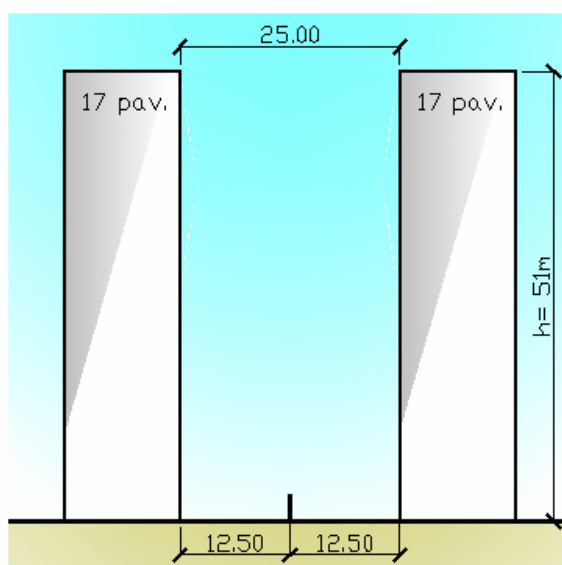


Figura 38 – Afastamento lateral proposto para 17 pavimentos

6.RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Consoante o padrão dos escoamentos característicos da área, e visando a determinação dos perfis de camada limite atmosférica para as quatro configurações de ocupação do solo nas praias de Cabo Branco e Tambaú, procederam-se aos cinco experimentos no túnel aerodinâmico do IPT/USP, que seguem. As bases para a sua determinação constam das planilhas apresentadas no Anexo C.

Considere-se que o ensaio com incidência do vento a 90° sobre a maquete, teve como objetivo detectar interferências da falésia do Cabo Branco nos escoamentos a ela perpendiculares, ainda que a frequência de ventos nesta direção (6,3 %), como visto no Capítulo 2 (2.3.6 Formação dos ventos – em escala urbana) seja muito baixa, servindo contudo, para o objetivo acima citado.

6.1 PERFIS DE CAMADA LIMITE ATMOSFÉRICA

Ensaio 01 - Perfil de CLA

Este perfil corresponde ao terreno sem obstáculos, nele percebendo-se claramente através do seu desenvolvimento em escala, corresponder a um perfil cheio, com desenvolvimento regular simulando um escoamento de CLA característico de zona de campo aberto (Gráfico 5).

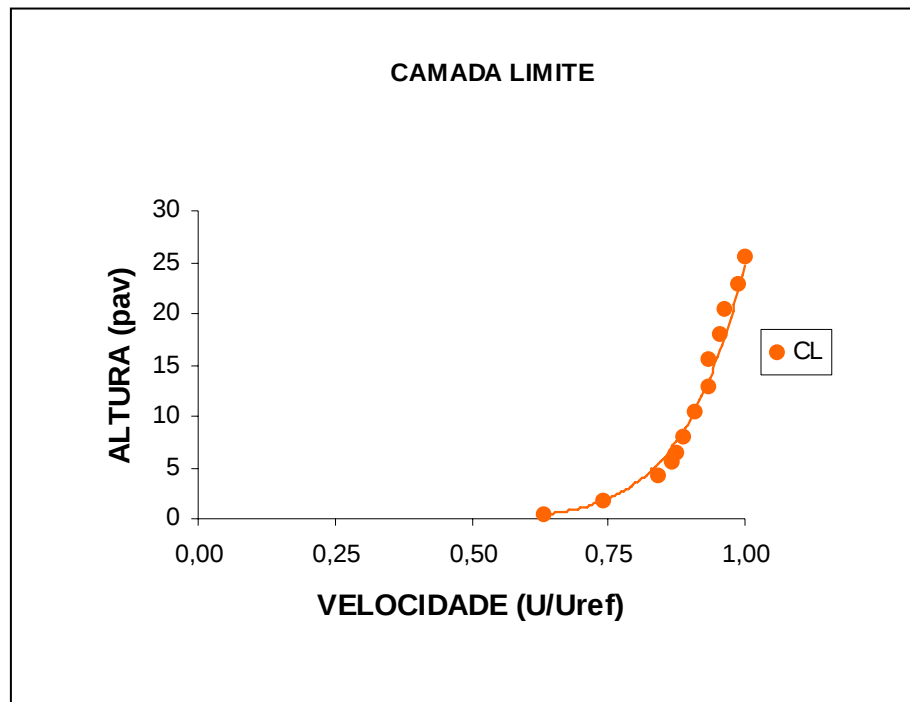


Gráfico 5 – Camada Limite – terreno sem obstáculo

Adensamento 01 - Situação atual (área pouco adensada, ocorre escalonamento com predominância ainda de edificações com dois pavimentos).

Da observação dos perfis obtidos neste ensaio, correspondente aos quatro pontos medidos na área, o representado na cor azul tem desenvolvimento relativamente uniforme, com uma pequena transição à altura de aproximadamente dois pavimentos, tornando-se mais cheio a partir desta altura, correspondendo a uma aceleração do escoamento local, coerente com a sua rugosidade. O correspondente ao ponto P2, detém desenvolvimento menos uniforme, com transição aproximadamente à altura correspondente a 10 pavimentos, elevando-se rapidamente. O perfil correspondente ao P3, tem desenvolvimento uniforme excetuando-se as primeiras medições que demonstram nitidamente uma elevação da CLA nestes, a partir dos quais eleva-se gradativamente de forma acelerada. Já o P4, demonstra claramente uma elevação súbita da CLA, indicando uma forte aceleração do escoamento de forma coerente com o adensamento da área (Gráfico 6).

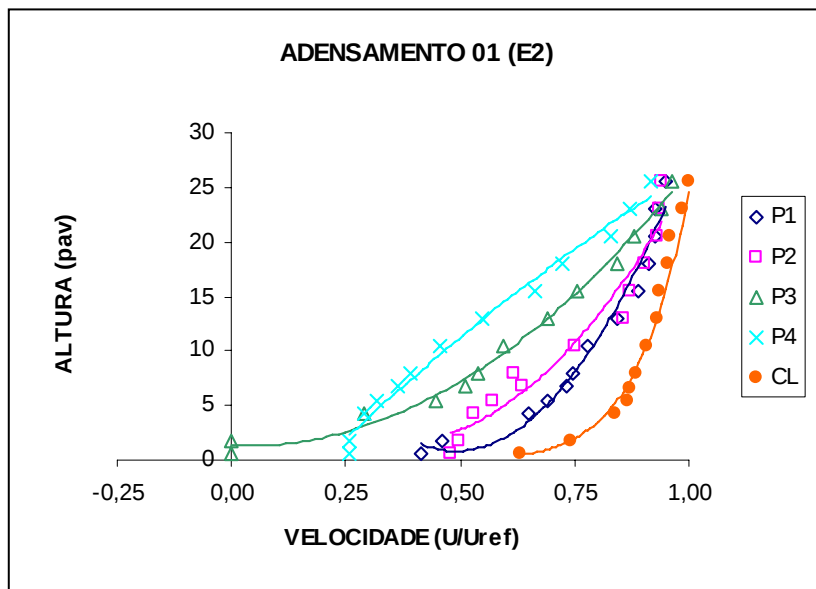


Gráfico 6 – Adensamento 01 - perfis de velocidade

Adensamento 02 – escalonamento do gabarito em altura (área adensada considerando o escalonamento do gabarito em altura com base na legislação em vigor).

Neste ensaio percebem-se perfis de CLA relativamente cheios, com pequenas transições à cota de três pavimentos, com exceção do P4, que demonstra uma elevação considerável da CLA (Gráfico 7).

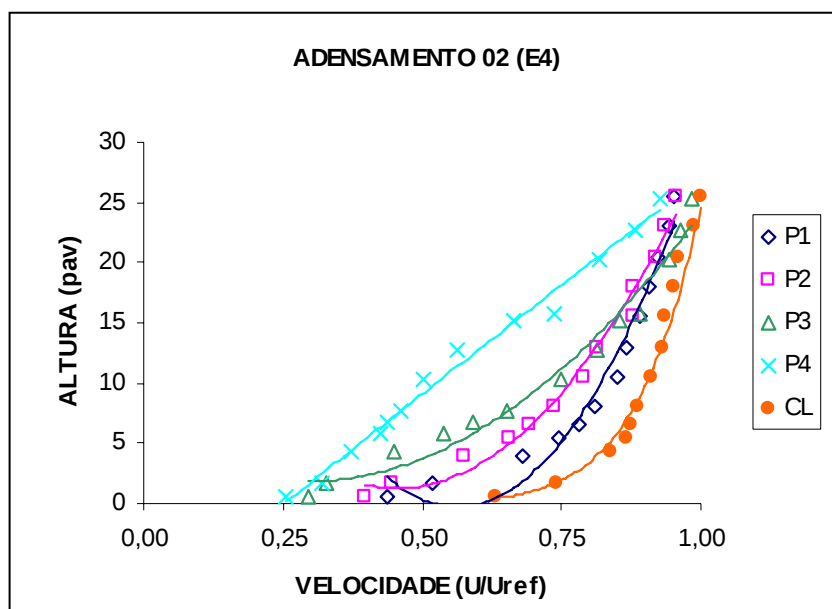


Gráfico 7 – Adensamento 02 - perfis de velocidade

Adensamento 03 – Gabarito em altura uniforme (área adensada com edifícios de 17 pavimentos, adotando-se afastamentos constantes na legislação em vigor, desconsiderando-se o escalonamento obrigatório).

Os perfis correspondentes a este ensaio demonstram elevações consideráveis da CLA local, como pode ser observado no Gráfico 8.

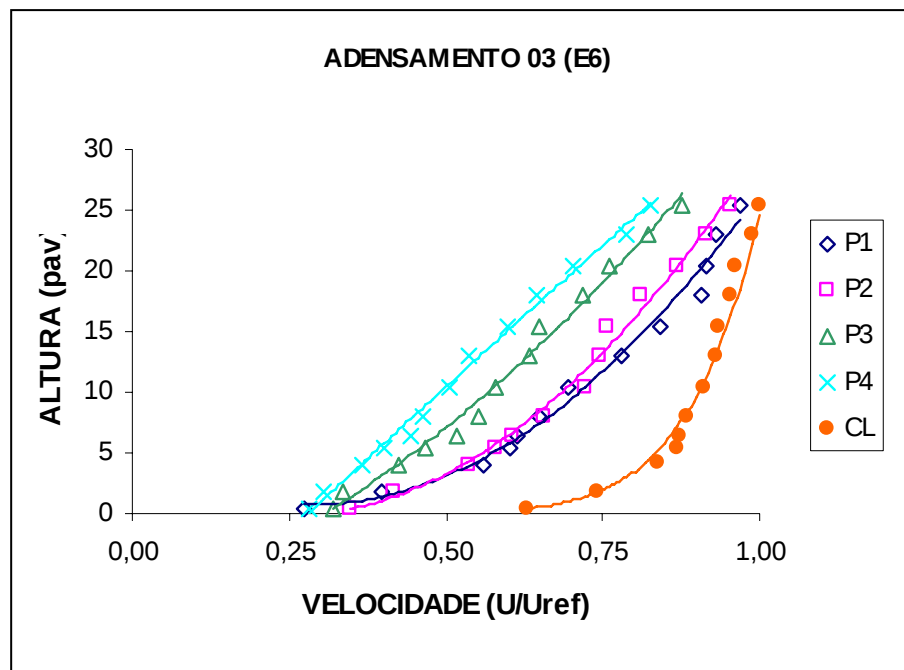


Gráfico 8 – Adensamento 03 - perfis de velocidade

Adensamento 04 – Gabarito em altura uniforme (área adensada com edifícios de 17 pavimentos, adotando-se afastamentos propostos e desconsiderando-se o escalonamento obrigatório).

Os perfis correspondentes ao Adensamento 04 conduzem a que se julgue serem eles representativos de um adensamento maior do que na verdade ocorrem, dadas às elevações rápidas da CLA e acelerações destas nos quatro pontos medidos (Gráfico 9).

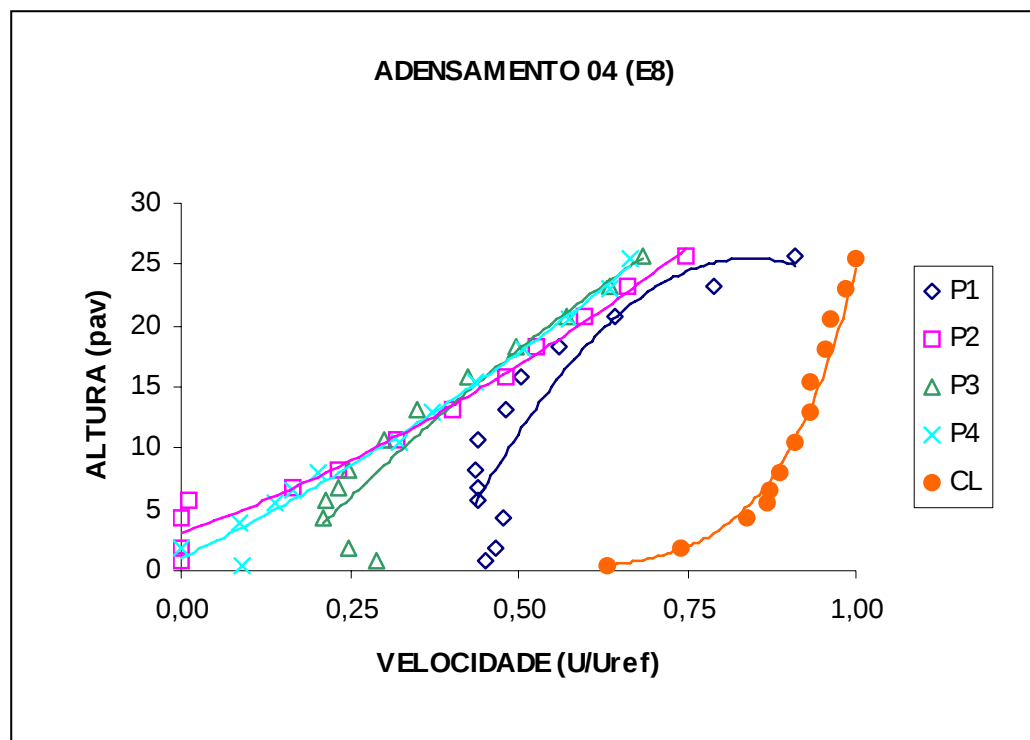


Gráfico 9 – Adensamento 04 - perfis de velocidade

6.2 FIGURAS DE EROSÃO

As figuras de erosão a seguir comentadas, tiveram a sua representação gráfica obtida através da digitalização do material fotográfico correspondente a cada um dos ensaios executados no túnel aerodinâmico, com suas configurações descritas no Capítulo 5 (5.2.1 Características dos adensamentos).

Faz-se importante salientar que, a figura inicial de cada um destes ensaios, representa graficamente a maquete com a configuração de ocupação atribuída aos mesmos e a camada de areia espalhada uniformemente sobre toda a sua superfície, sem que ainda tenha sido posto em funcionamento o ventilador do túnel. Desta maneira, por não apresentarem qualquer tipo de

erosão, estas figuras iniciais não serão alvo de comentários, sendo estes feitos apenas sobre aquelas onde tenha início o processo (cumulativo) de erosão.

O Ensaio 2, correspondente ao Adensamento 01 com vento incidente a 90°, será descrito a seguir de forma pormenorizada permitindo a identificação do surgimento de alguns dos efeitos aerodinâmicos descritos no Capítulo 2 (2.3.6 formação dos ventos -em escala urbana). Tais efeitos se fazem presentes variando apenas em intensidade e na seqüência em que surgem no decorrer dos outros ensaios. Assim sendo, a partir do Ensaio 3 serão comentadas apenas as figuras relativas às sobreposições das isolinhas de velocidade.

ADENSAMENTO 01-RUMO DE VENTO 90° (E2)

O ensaio E2 foi efetivado tendo sido a maquete ocupada com blocos que simulam a ocupação atual da área estudada, respeitando suas formas e dimensões, buscando a melhor reprodução possível do padrão de ocupação hoje existente no local.

Quando submetida a maquete à rotação mais baixa adotada durante este ensaio, ou seja, o ventilador do túnel aerodinâmico funcionando a uma rotação de 180 RPM; já se mostram evidentes áreas erodidas principalmente nas bordas superior (norte) e lateral direita(leste), que se encontram mais expostas, sofrendo o ataque direto dos ventos que sobre elas incidem na direção de 90°.

Evidencia-se, a partir do aumento da rotação do ventilador, a formação de pequenas áreas erodidas distribuídas de maneira dispersa, ocasionadas em sua grande maioria pelo efeito de *vórtices bilaterais*. A intensificação deste efeito se torna mais perceptível, ao passo em que a rotação a que a maquete é submetida é aumentada para 210 RPM, e se fazem perceber inclusive certas áreas erodidas, embora ainda discretas, na sua borda inferior (sul).São notados também *vórtices de pé de fachada* e *vórtices laterais*, tanto em alguns edifícios locados na borda de ataque do vento, como em outros localizados nas duas fileiras subseqüentes. A esta rotação do ventilador ainda não são visíveis efeitos de canalização,

denotando a pouca permeabilidade do adensamento aos ventos, evidenciando o fato de que os afastamentos entre as edificações são bastante reduzidos.

Efeitos de *esteira* começam a surgir isoladamente em edificações nas partes superior e central da maquete quando a rotação é aumentada para 240 RPM. É notório que, mesmo quando a maquete se encontra submetida a rotações mais expressivas do ventilador do túnel aerodinâmico (270 RPM), a primeira linha de edificações posicionada no flanco leste do modelo dificulta a entrada dos ventos na área, impondo aos edifícios a ela adjacentes condições desfavoráveis de ventilação. Ainda neste momento, é possível perceber discretamente a sobreposição de alguns efeitos em pontos distintos da área, o que não resulta entretanto em uma melhor distribuição das áreas submetidas a pressões positivas.

O avanço das áreas erodidas ocorre quando se atinge as 300 RPM, como esperado, na direção leste-oeste. Isto se pode perceber de forma mais incisiva na porção central da área, correspondente à Avenida Epitácio Pessoa, que mesmo apresentando uma calha de rua com dimensões consideráveis, apresenta ainda ao longo do seu trajeto grandes áreas de estagnação.

Quando o adensamento é submetido à rotação de 330 RPM, grande parte da maquete mostra zonas de estagnação significativas, tornando mais definidos os padrões de ventilação da área, denotando velocidades mais reduzidas nestes locais enquanto que em alguns outros, como principalmente nas porções central e norte da maquete, localizam-se áreas onde se identificam pressões positivas, pressupondo a ocorrência de velocidades mais elevadas.

A rugosidade imposta pelo adensamento utilizado, evidencia além da sua baixa permeabilidade aos ventos, uma redução bastante expressiva nas velocidades dos escoamentos incidentes, o que se reflete numa distribuição bastante dispersa das áreas erodidas e submete grande parte das edificações à zonas de estagnação.

Figuras de Erosão do Adensamento 01 (E2) – Rumo de Vento 90°

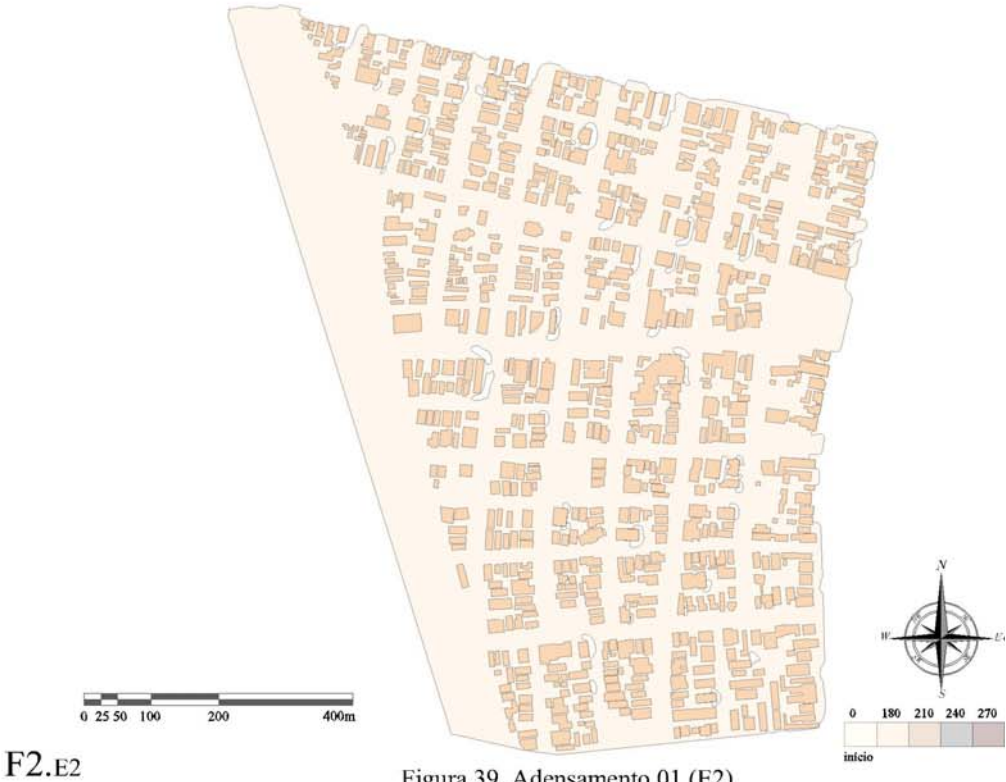
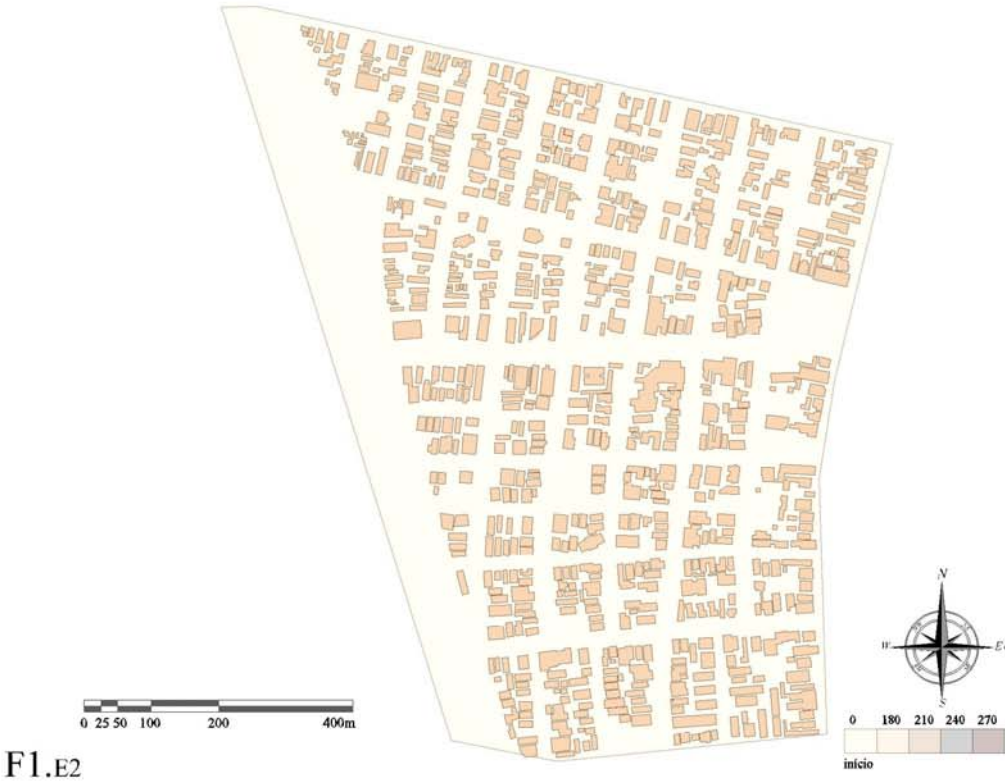


Figura 39. Adensamento 01 (E2)

Figuras de Erosão do Adensamento 01 (E2) – Rumo de Vento 90°

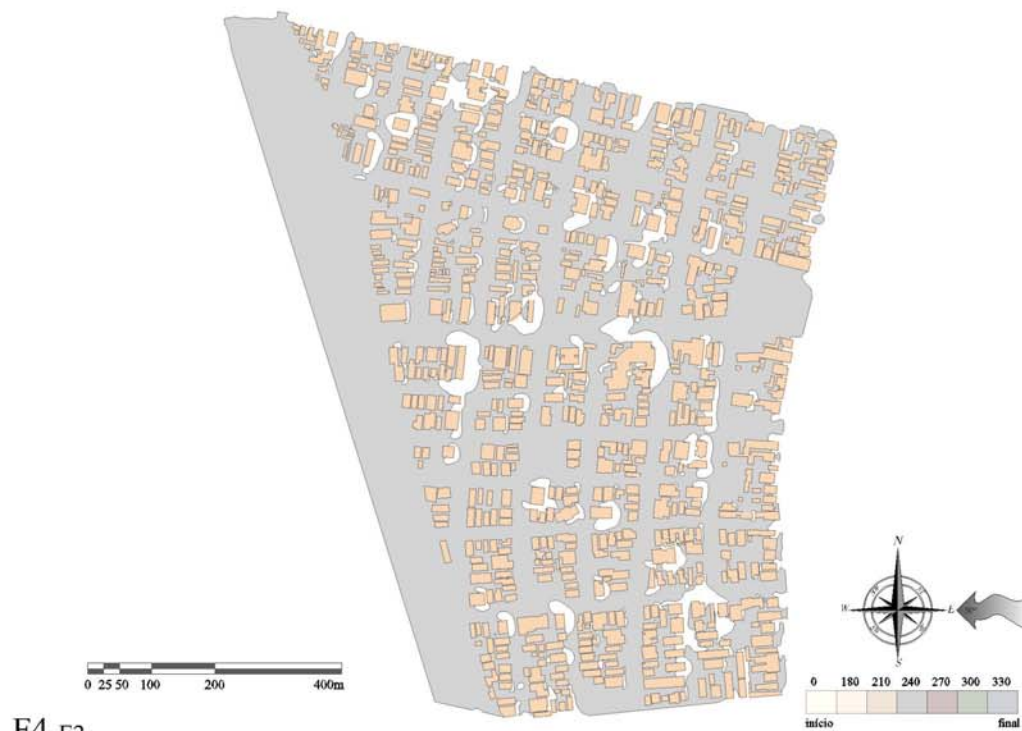
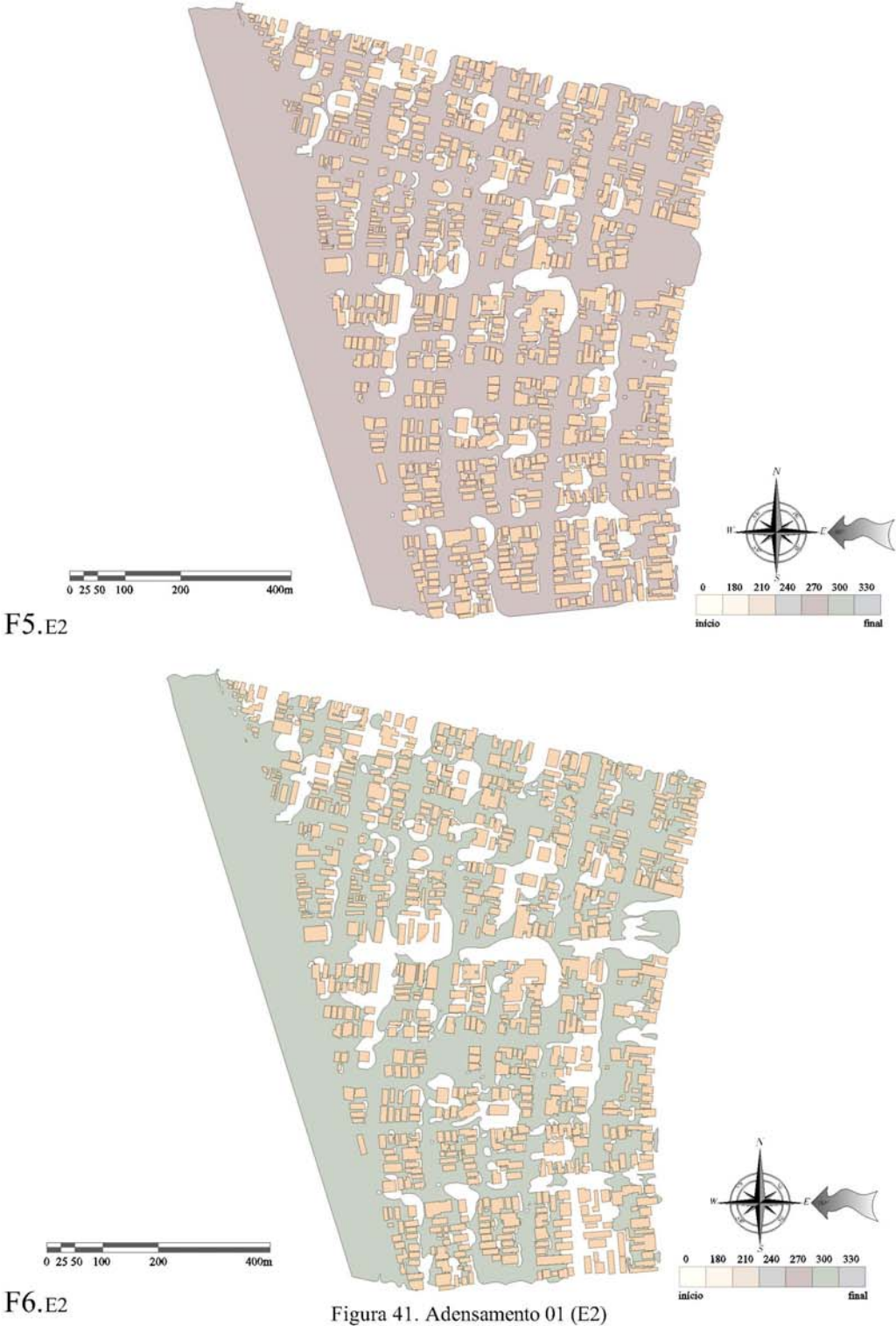
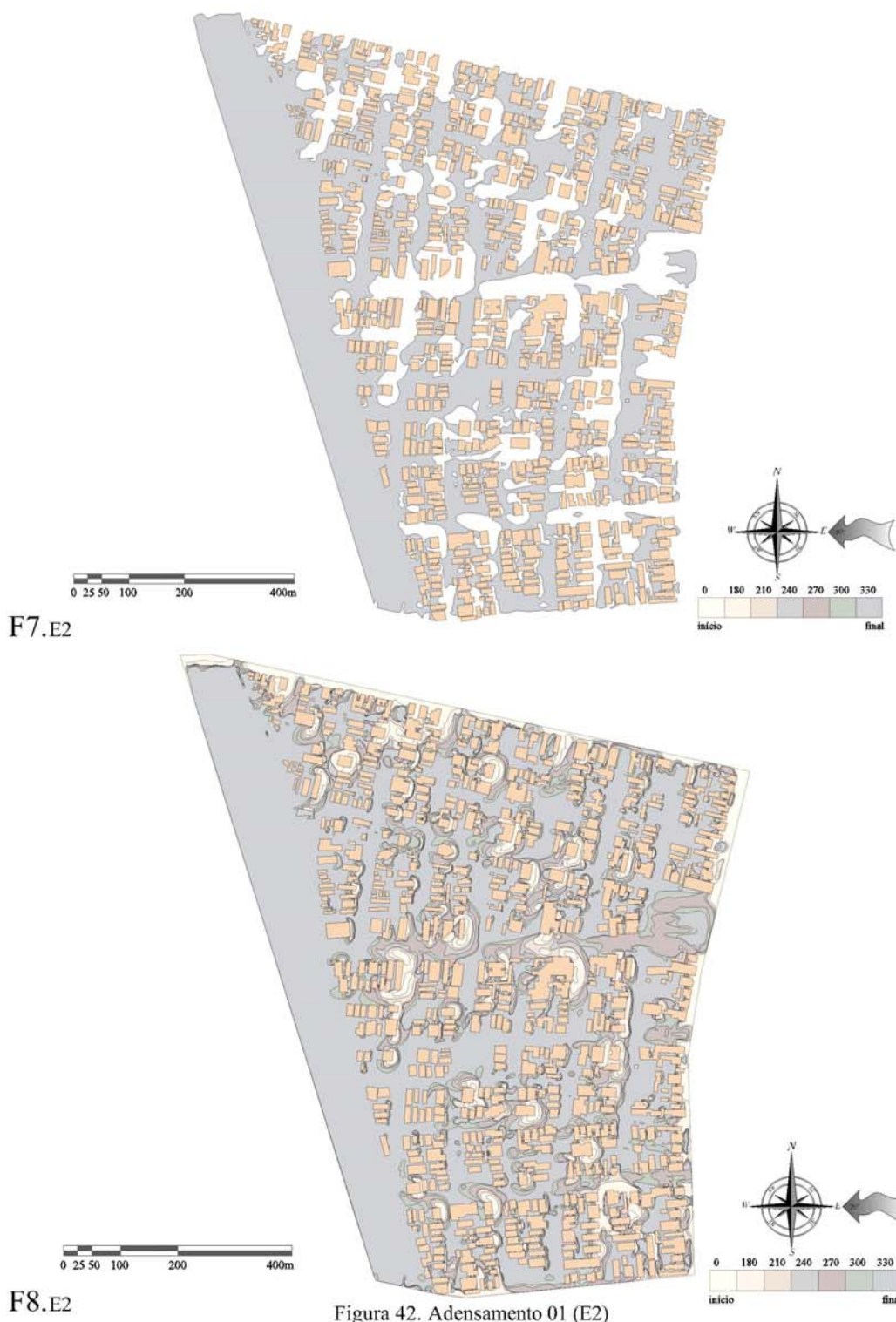


Figura 40. Adensamento 01 (E2)

Figuras de Erosão do Adensamento 01 (E2) – Rumo de Vento 90°



Figuras de Erosão do Adensamento 01 (E2) – Rumo de Vento 90°



Da observação da sobreposição das figuras de erosão geradas do **Adensamento 01 (vento incidente a 90°)**, percebe-se que sua configuração tridimensional conduz a que a camada limite seja relativamente elevada e as isolinhas de velocidade correspondentes a este adensamento demonstrem a relativa permeabilidade do padrão de ocupação com relação aos escoamentos locais. Fica assim, bem clara a retenção da areia sobre a maquete, atingindo esta retenção 45,53 % do total da areia nela distribuída.

Figuras de Erosão do Adensamento 01 (E3) – Rumo de Vento 150°



Figuras de Erosão do Adensamento 01 (E3) – Rumo de Vento 150°

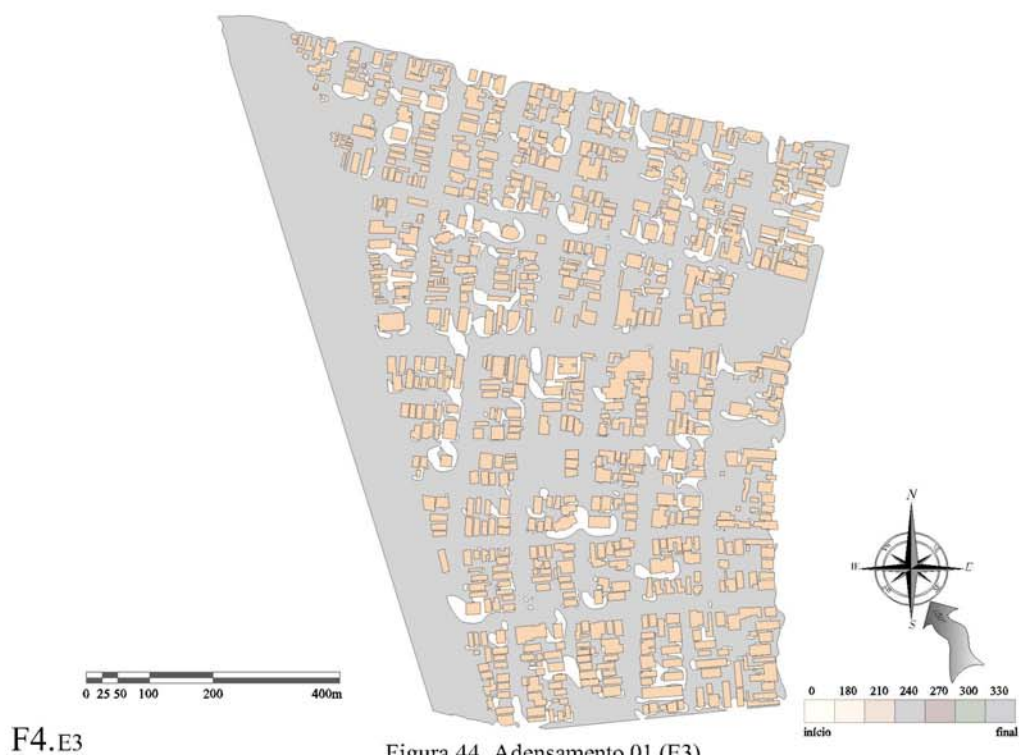


Figura 44. Adensamento 01 (E3)

Figuras de Erosão do Adensamento 01 (E3) – Rumo de Vento 150°

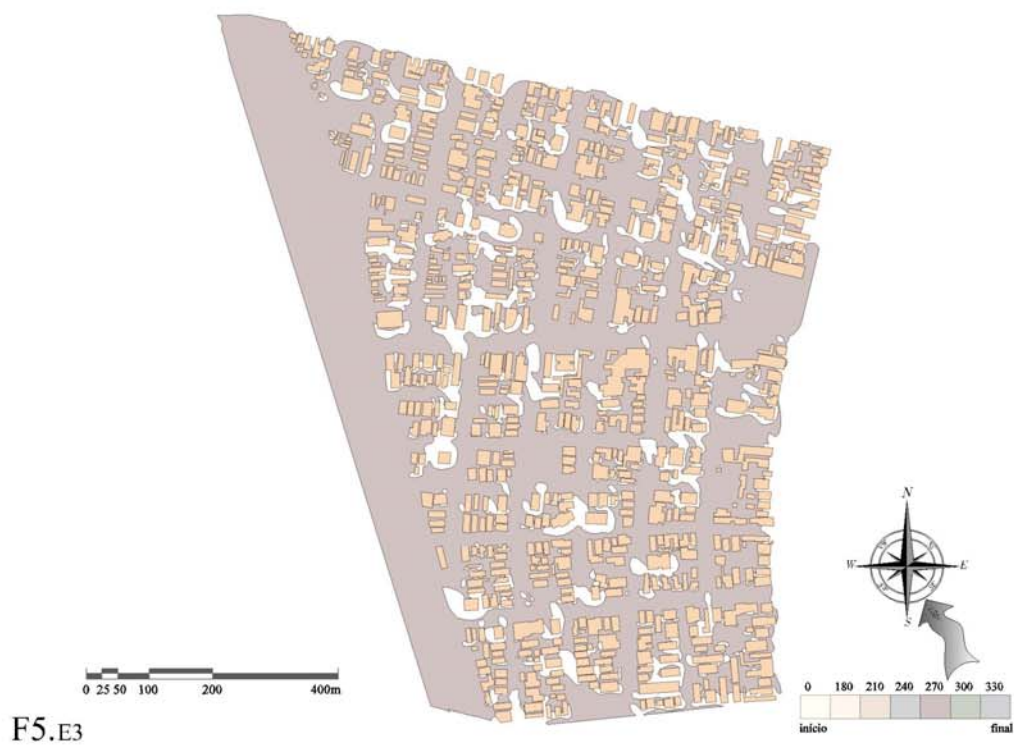
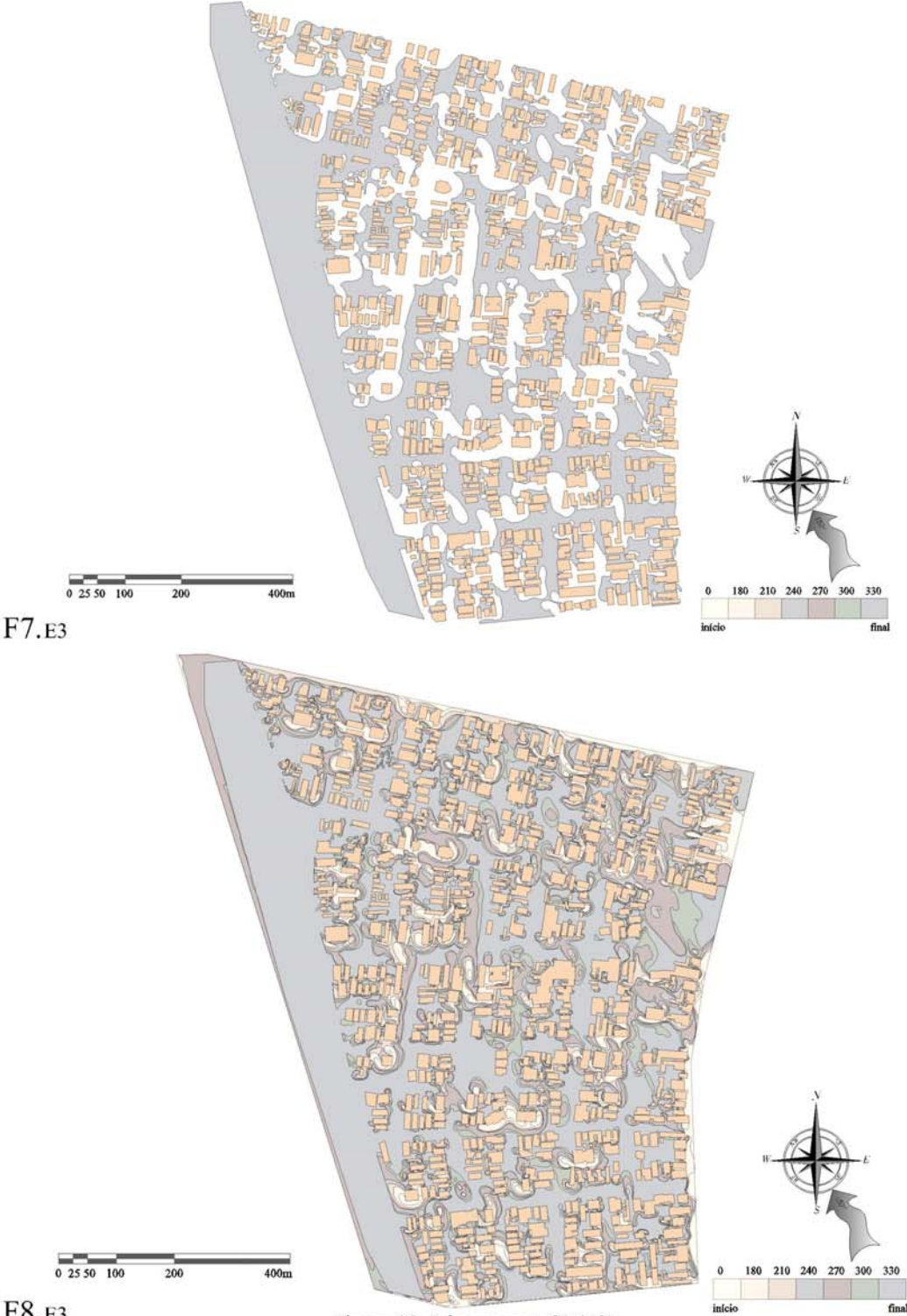


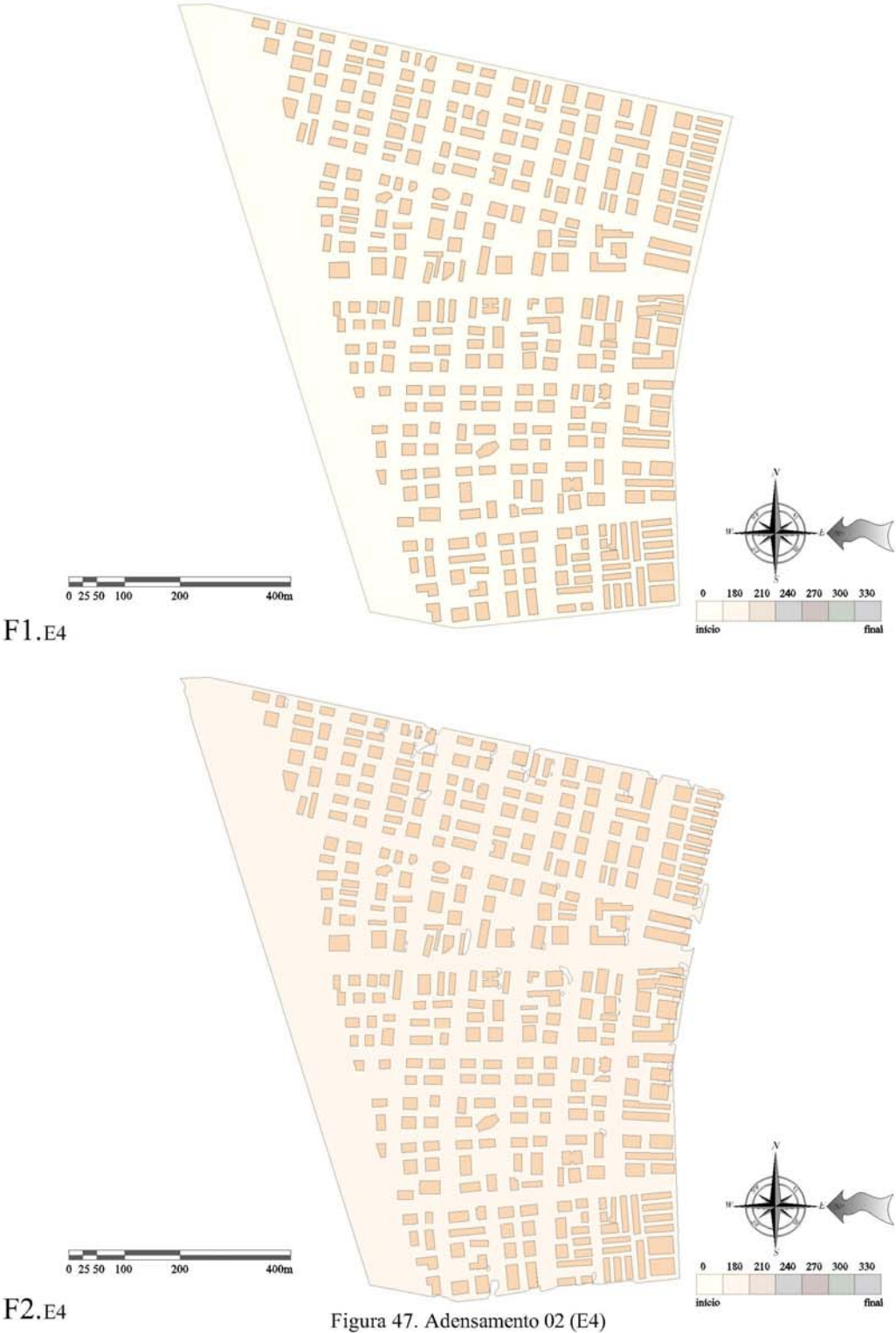
Figura 45. Adensamento 01 (E3)

Figuras de Erosão do Adensamento 01 (E3) – Rumo de Vento 150°

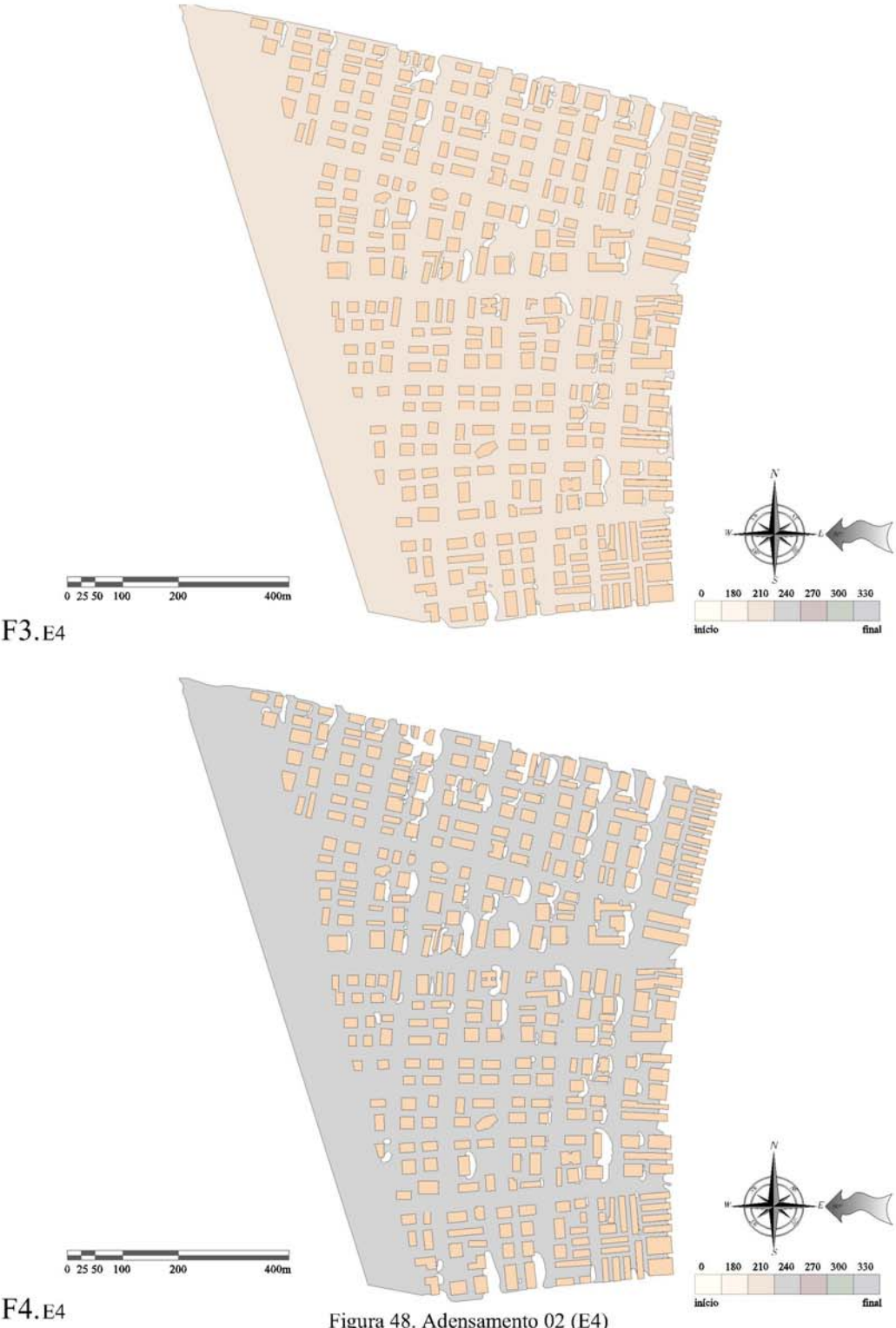


Sobrepondo-se as figuras de erosão obtidas do **Adensamento 01 (vento incidente a 150°)**, percebe-se que seu escalonamento eleva relativamente a CLA, ficando tal fato demonstrado pelas isolinhas de velocidade correspondentes a este adensamento, que indicam uma relativa permeabilidade da área, por sua vez coerente com o adensamento ainda rarefeito em termos de cotas altimétricas, resultando em uma retenção de 32,28 % do total de areia distribuído sobre a maquete. Entretanto, não se verificam canalizações expressivas.

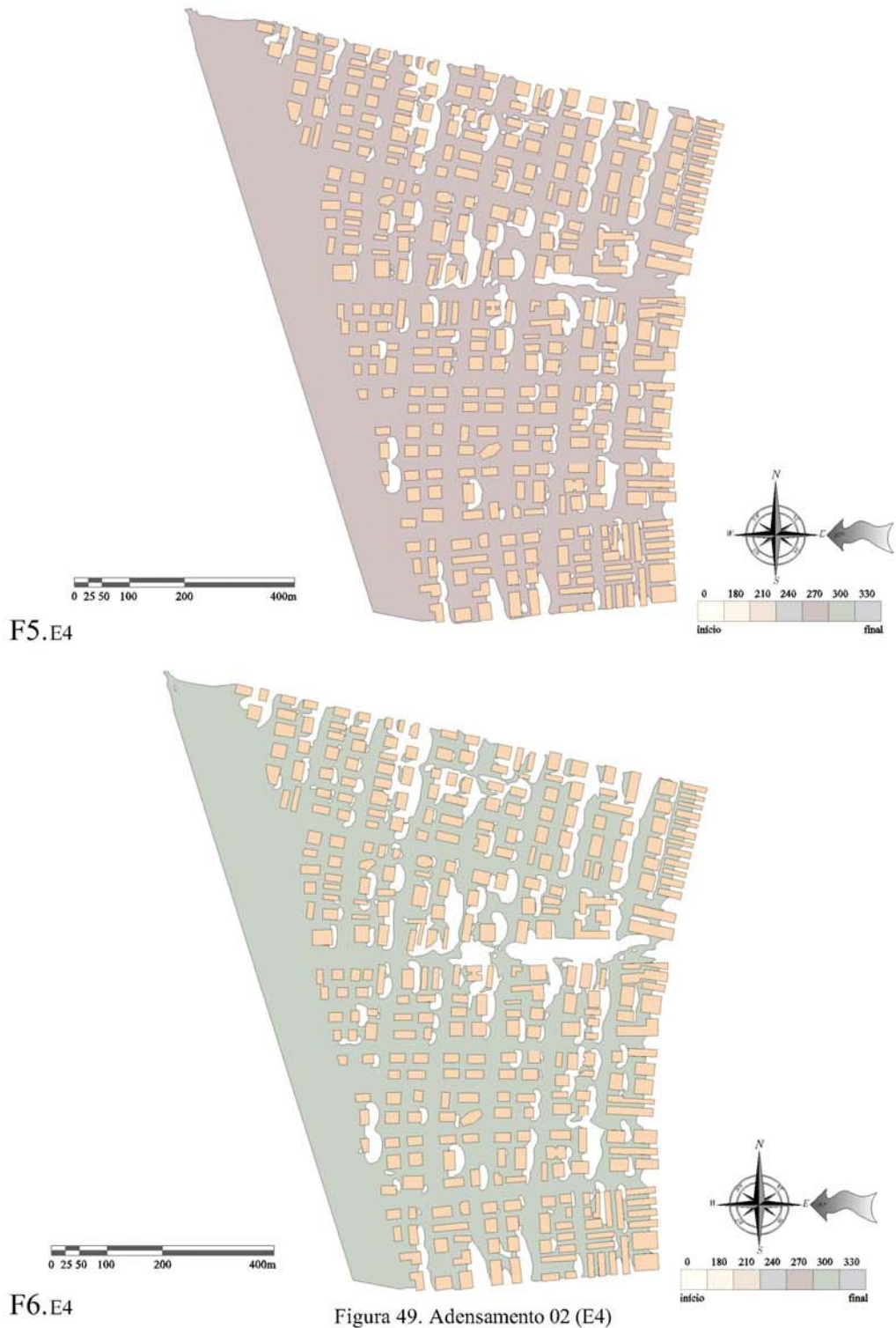
Figuras de Erosão do Adensamento 02 (E4) – Rumo de Vento 90°



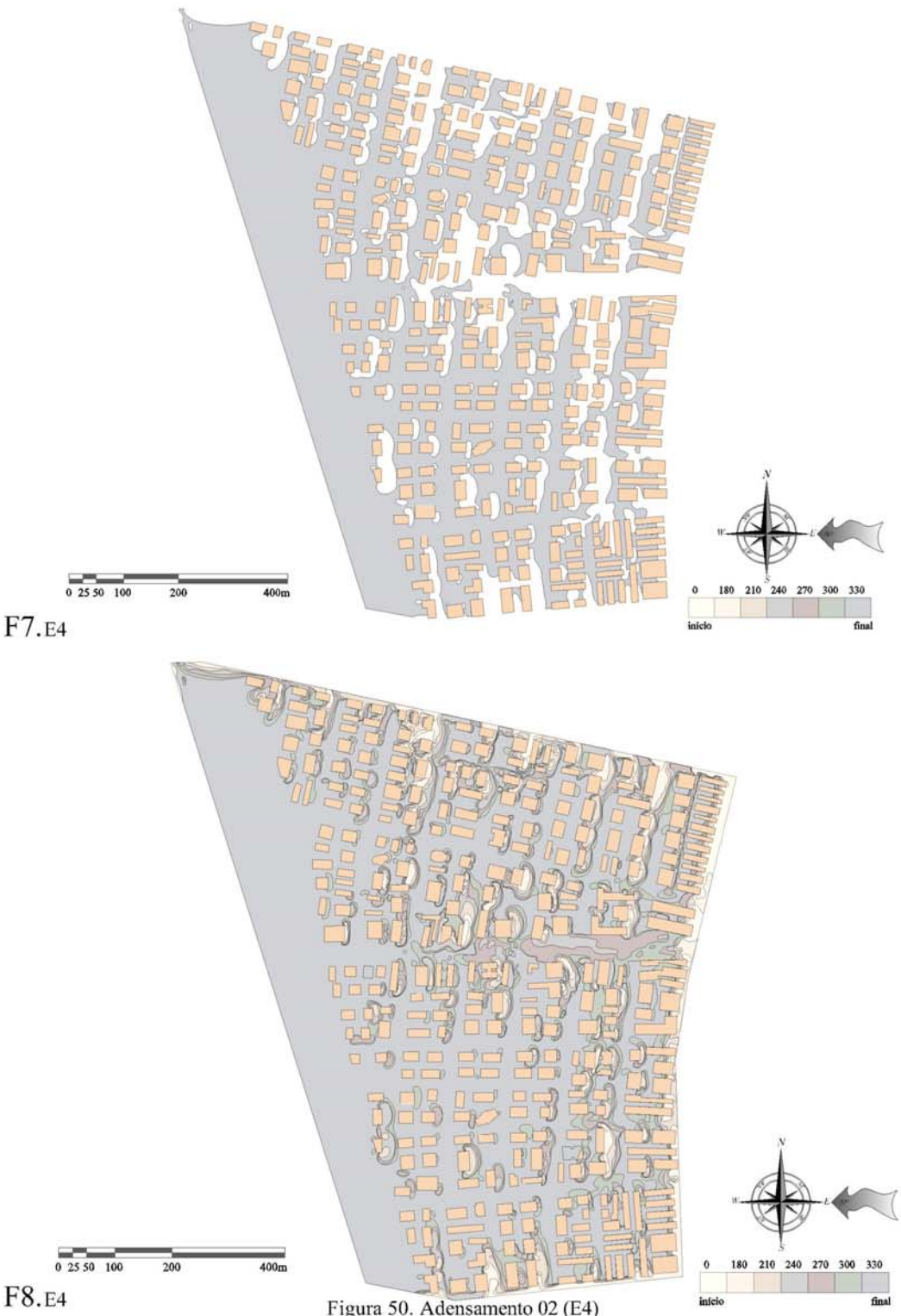
Figuras de Erosão do Adensamento 02 (E4) – Rumo de Vento 90°



Figuras de Erosão do Adensamento 02 (E4) – Rumo de Vento 90°



Figuras de Erosão do Adensamento 02 (E4) – Rumo de Vento 90°



No **Adensamento 02 (vento incidente a 90°)**, as isolinhas de velocidades deixam clara a penetração do escoamento incidente sobre a maquete, concentrando-se este de forma mais evidente através de uma significativa canalização na porção norte da mesma. Observa-se ainda uma distribuição dispersa de áreas erodidas sobre toda a extensão da maquete, que apresenta um valor de retenção de areia bastante expressivo (51,12 %).

Figuras de Erosão do Adensamento 02 (E5) – Rumo de Vento 150°

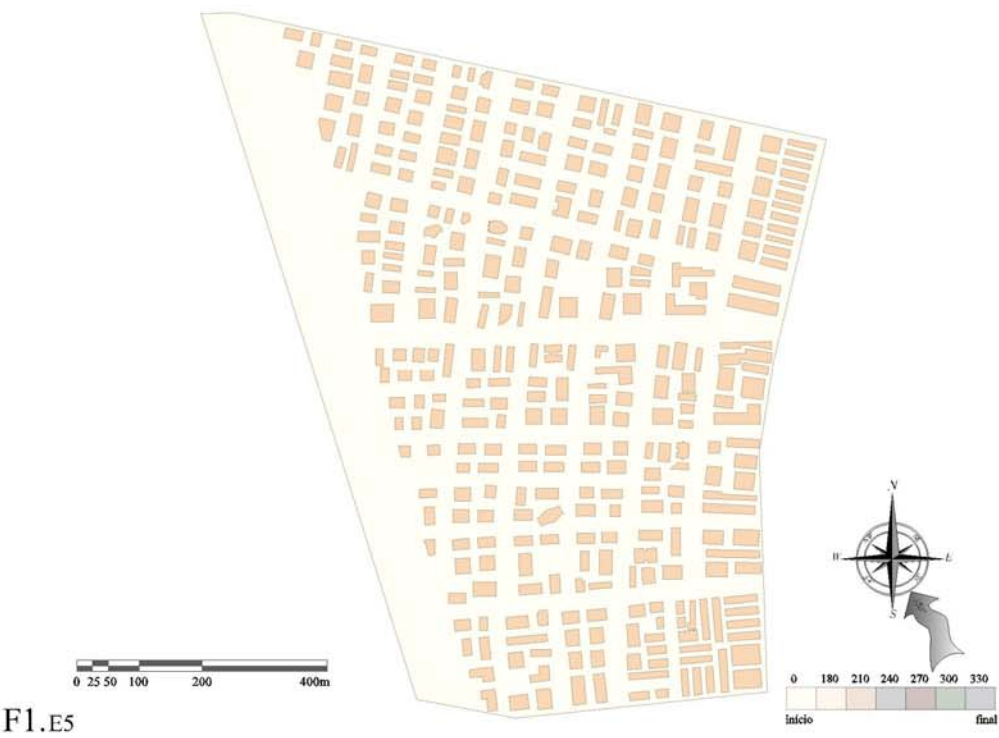


Figura 51. Adensamento 02 (E5)

Figuras de Erosão do Adensamento 02 (E5) – Rumo de Vento 150°

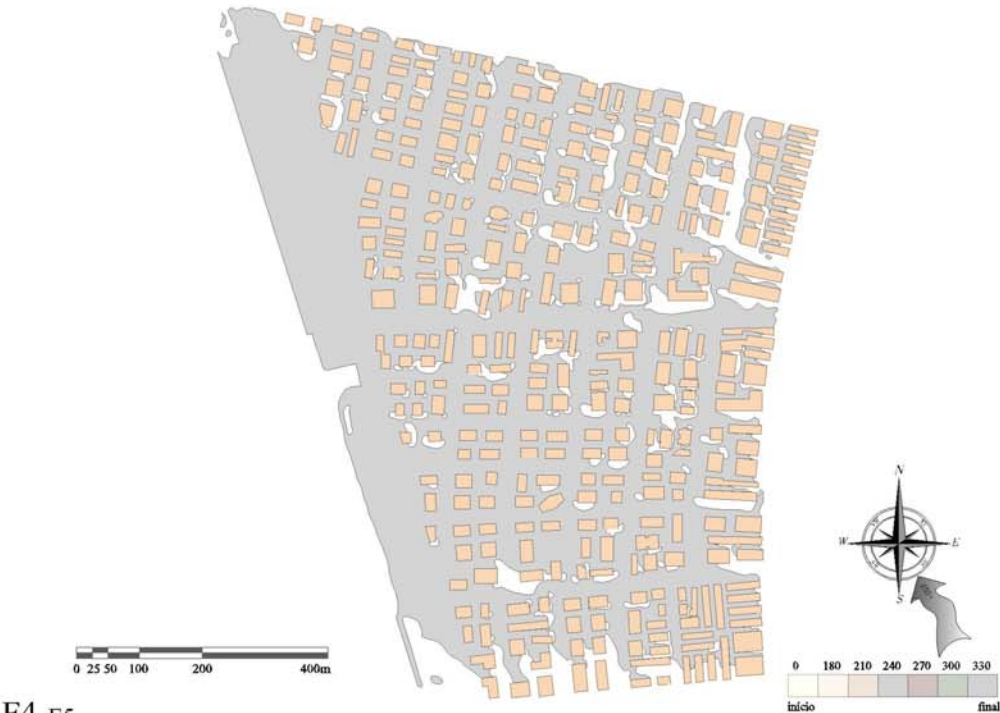


Figura 52. Adensamento 02 (E5)

Figuras de Erosão do Adensamento 02 (E5) – Rumo de Vento 150°

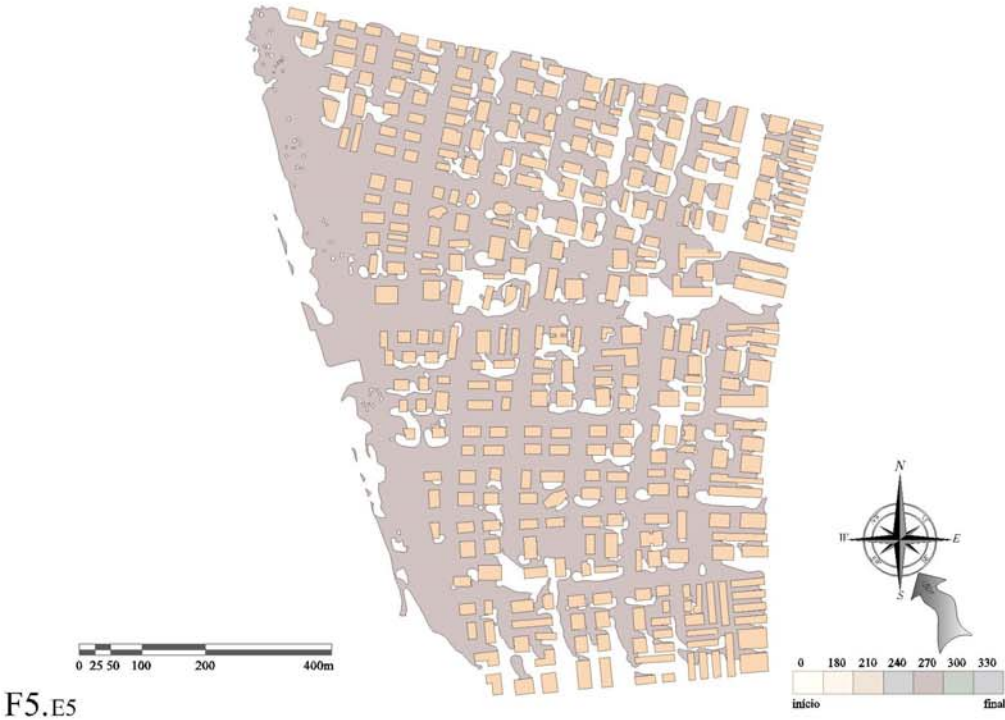


Figura 53. Adensamento 02 (E5)

Figuras de Erosão do Adensamento 02 (E5) – Rumo de Vento 150°

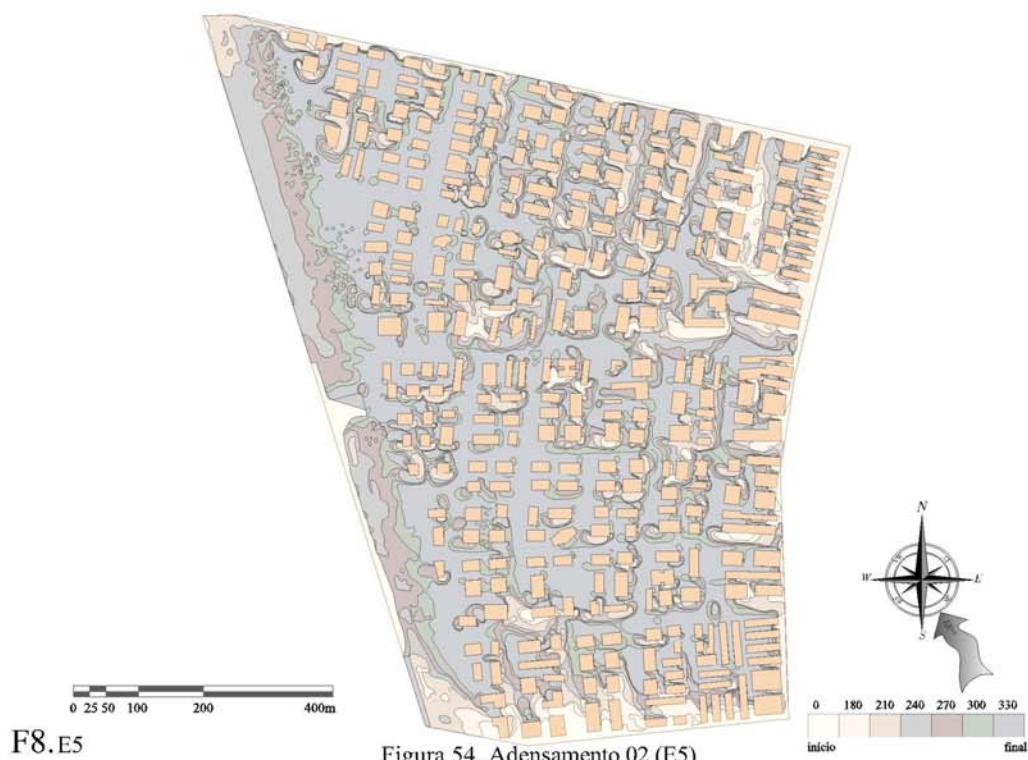
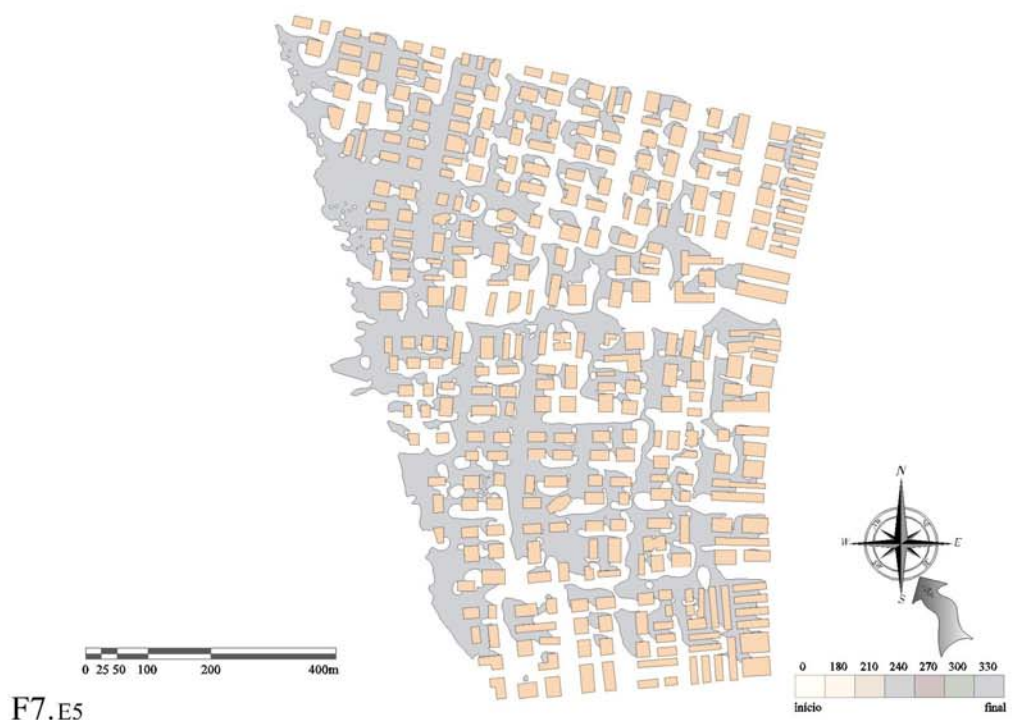
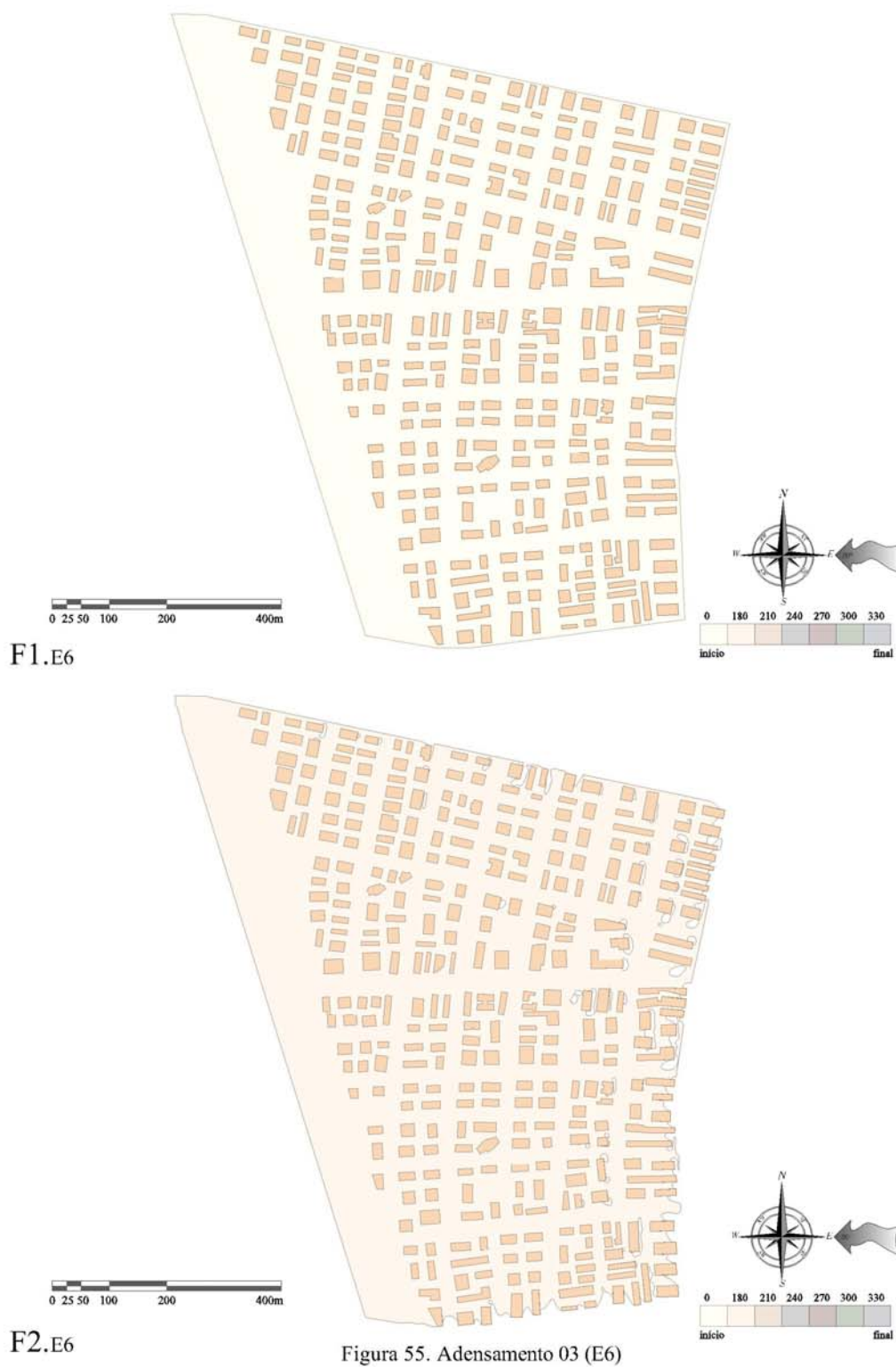


Figura 54. Adensamento 02 (E5)

As isolinhas de velocidade registradas no **Adensamento 02 (vento incidente a 150°)** dão a conhecer as condições pouco aceitáveis de ventilação na área estudada. A penetração do escoamento incidente é redirecionada para o alto gerando desta forma zonas consideráveis nas quais as velocidades do vento tendem para zero, exatamente na faixa onde se permite construções com gabaritos em altura mais elevados. Neste adensamento verificam-se algumas canalizações pouco expressivas frente à área total considerada e a retenção de areia atinge 30,44 %.

Figuras de Erosão do Adensamento 03 (E6) – Rumo de Vento 90°



Figuras de Erosão do Adensamento 03 (E6) – Rumo de Vento 90°

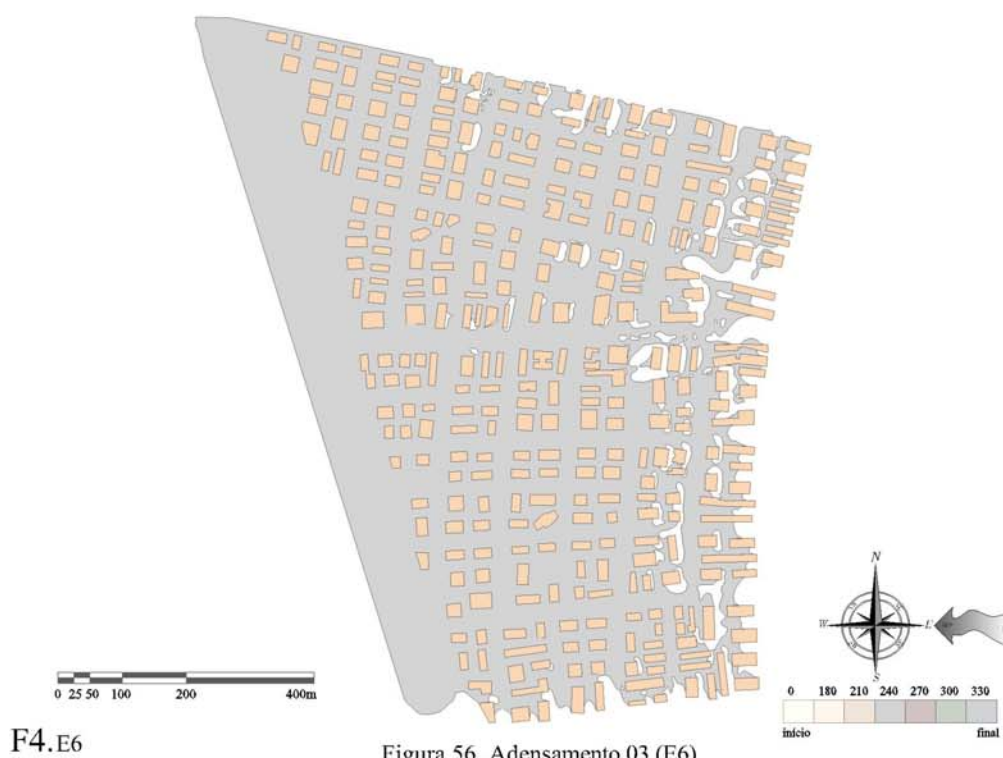


Figura 56. Adensamento 03 (E6)

Figuras de Erosão do Adensamento 03 (E6) – Rumo de Vento 90°

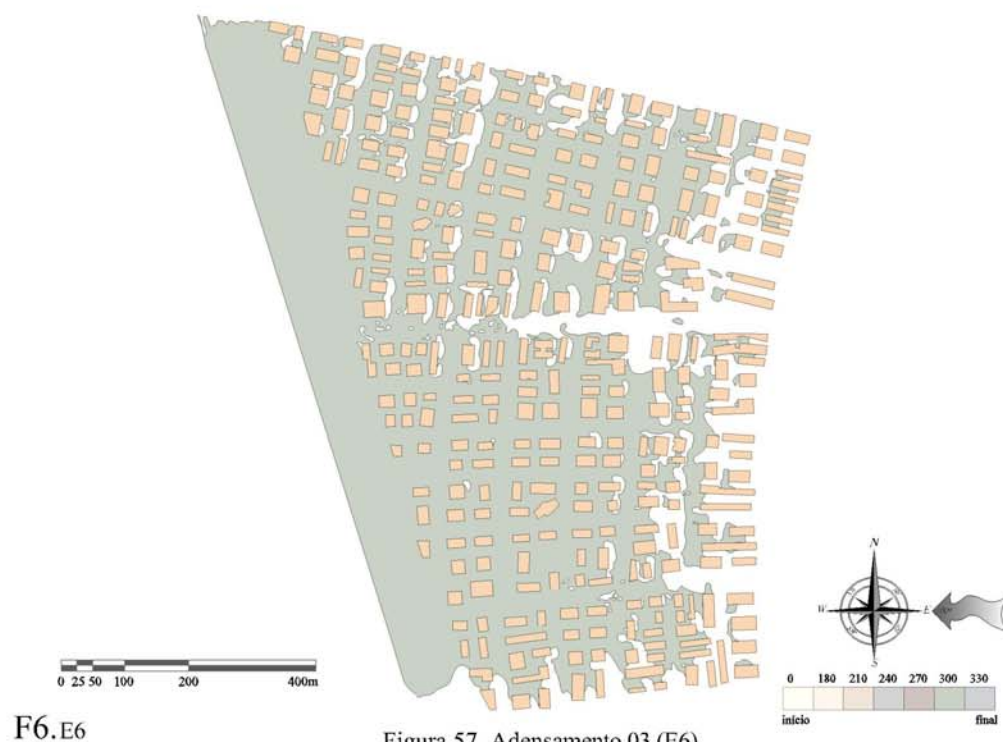
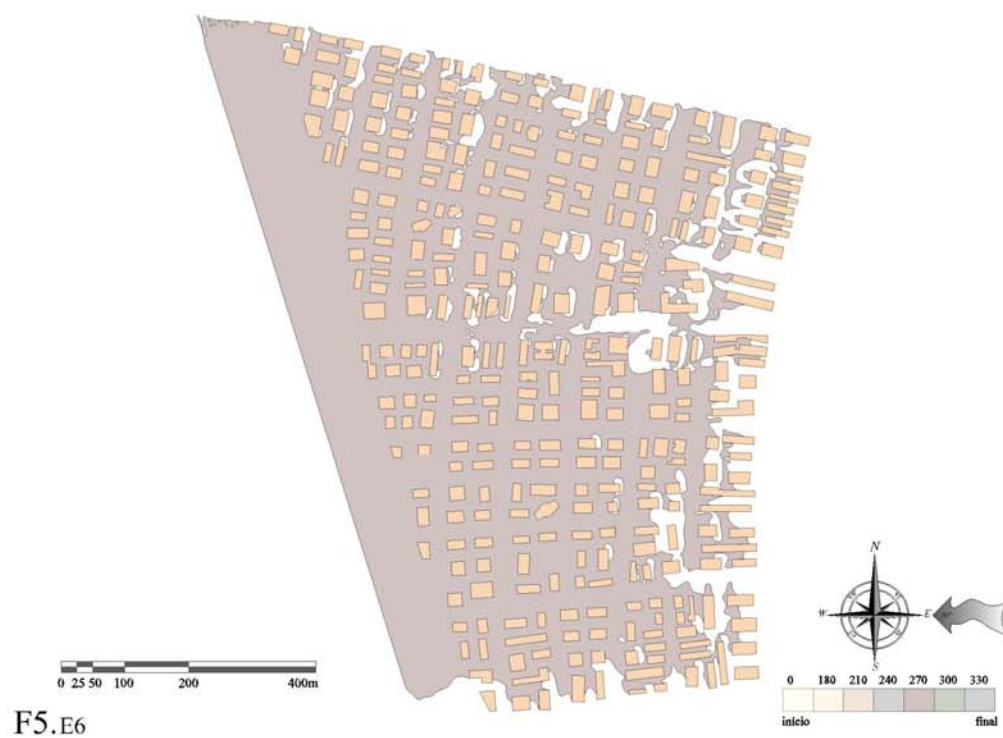


Figura 57. Adensamento 03 (E6)

Figuras de Erosão do Adensamento 03 (E6) – Rumo de Vento 90°

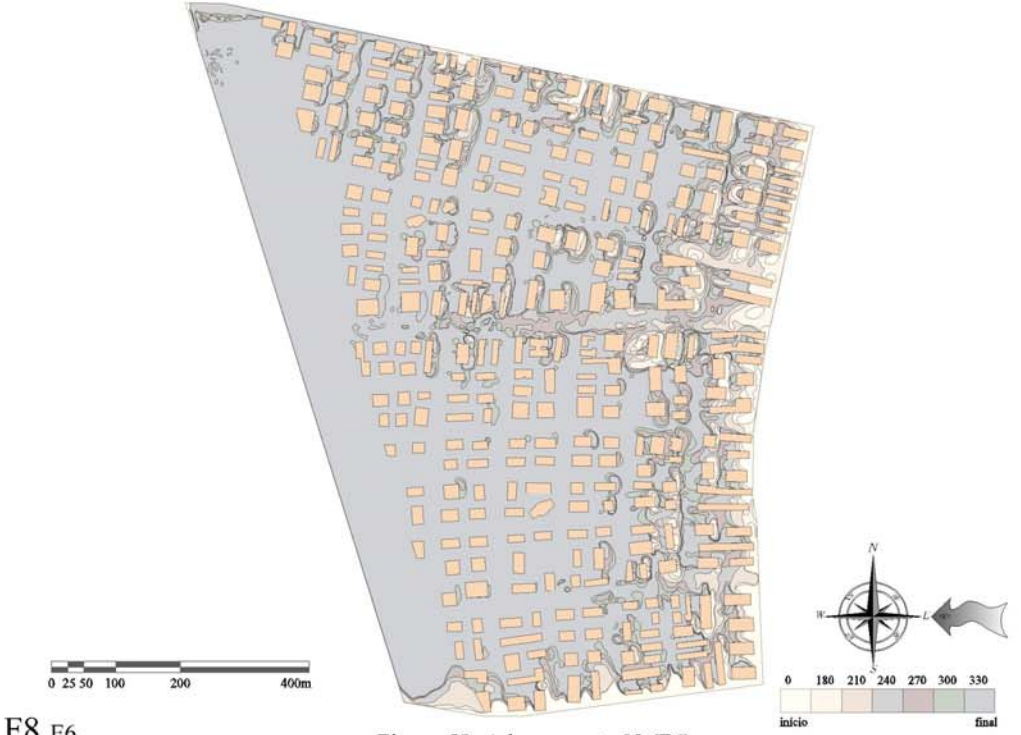


Figura 58. Adensamento 03 (E6)

No **Adensamento 03 (vento incidente a 90°)**, vê-se na porção leste da área, uma distribuição do escoamento relativamente equilibrada como se pode perceber através das isolinhas de velocidade que delimitam as áreas erodidas. Entretanto, uma porção significativa da maquete, abaixo da canalização antes comentada, permanece praticamente sem erosão, como se pode verificar através da retenção de areia, que neste caso atinge o valor mais elevado entre todos os casos ensaiados (52,78 %).

Figuras de Erosão do Adensamento 03 (E7) – Rumo de Vento 150°

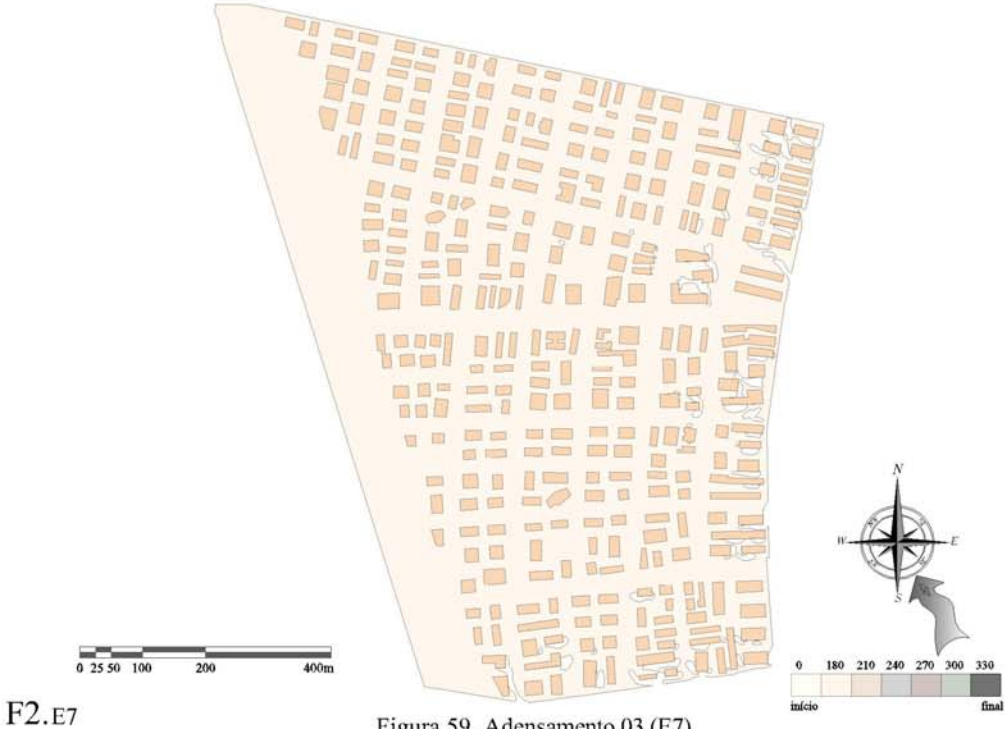
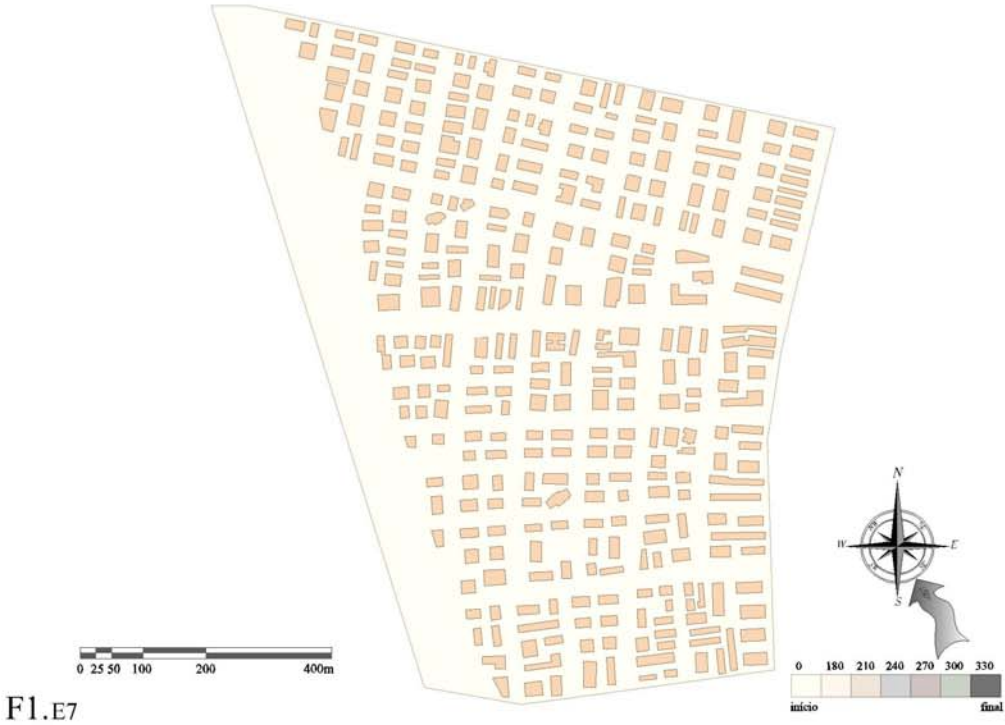


Figura 59. Adensamento 03 (E7)

Figuras de Erosão do Adensamento 03 (E7) – Rumo de Vento 150°

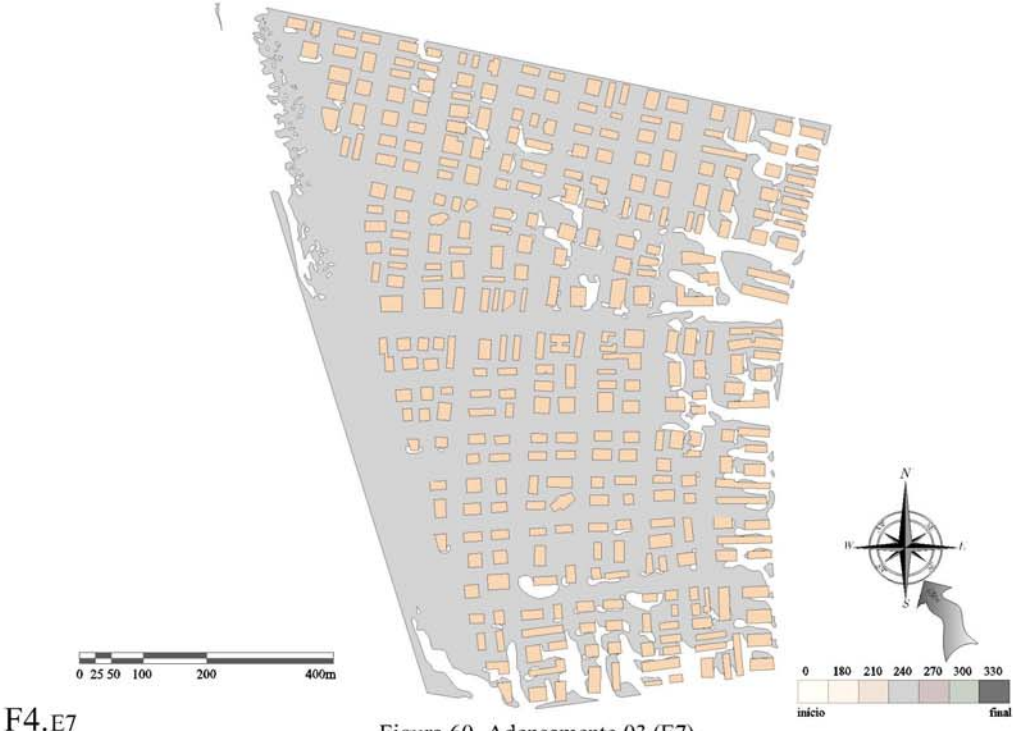


Figura 60. Adensamento 03 (E7)

Figuras de Erosão do Adensamento 03 (E7) – Rumo de Vento 150°

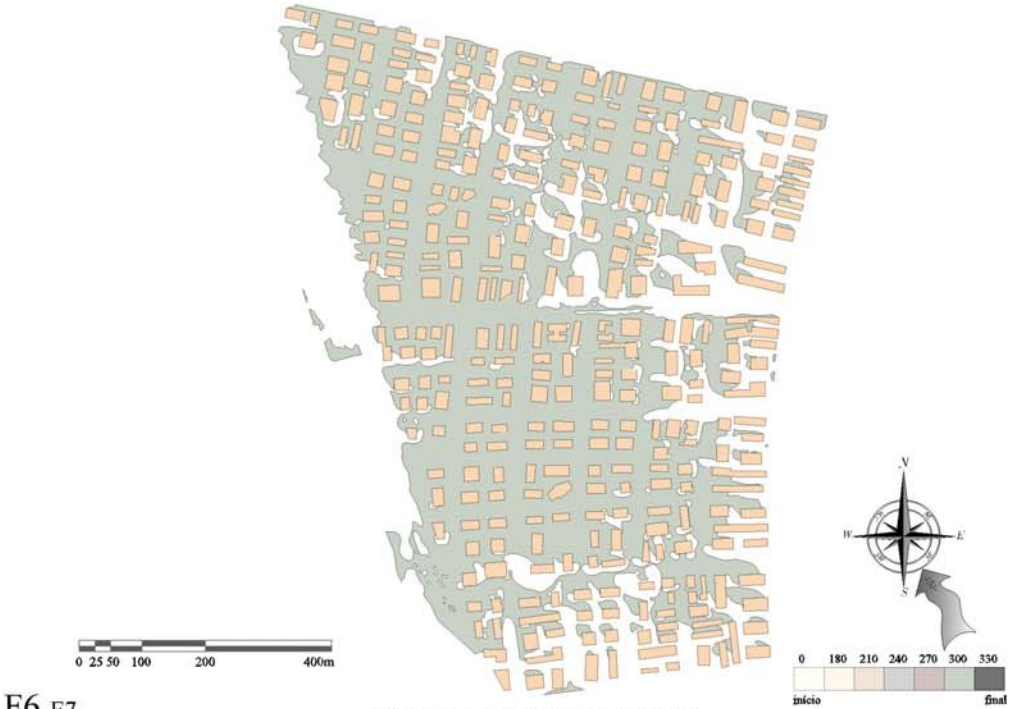
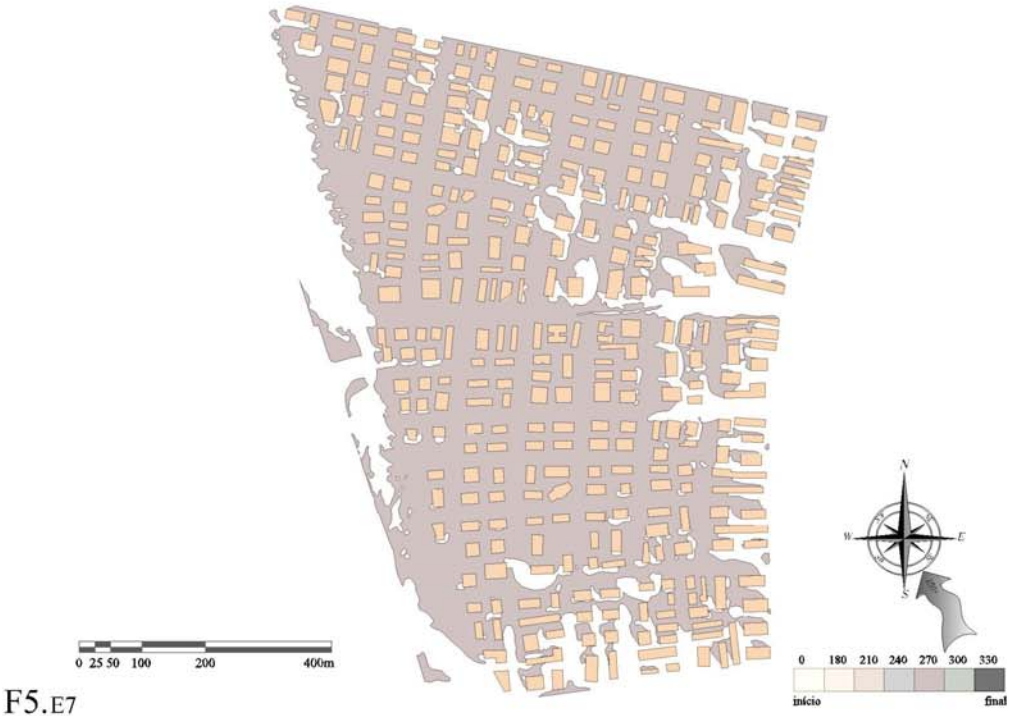


Figura 61. Adensamento 03 (E7)

Figuras de Erosão do Adensamento 03 (E7) – Rumo de Vento 150°

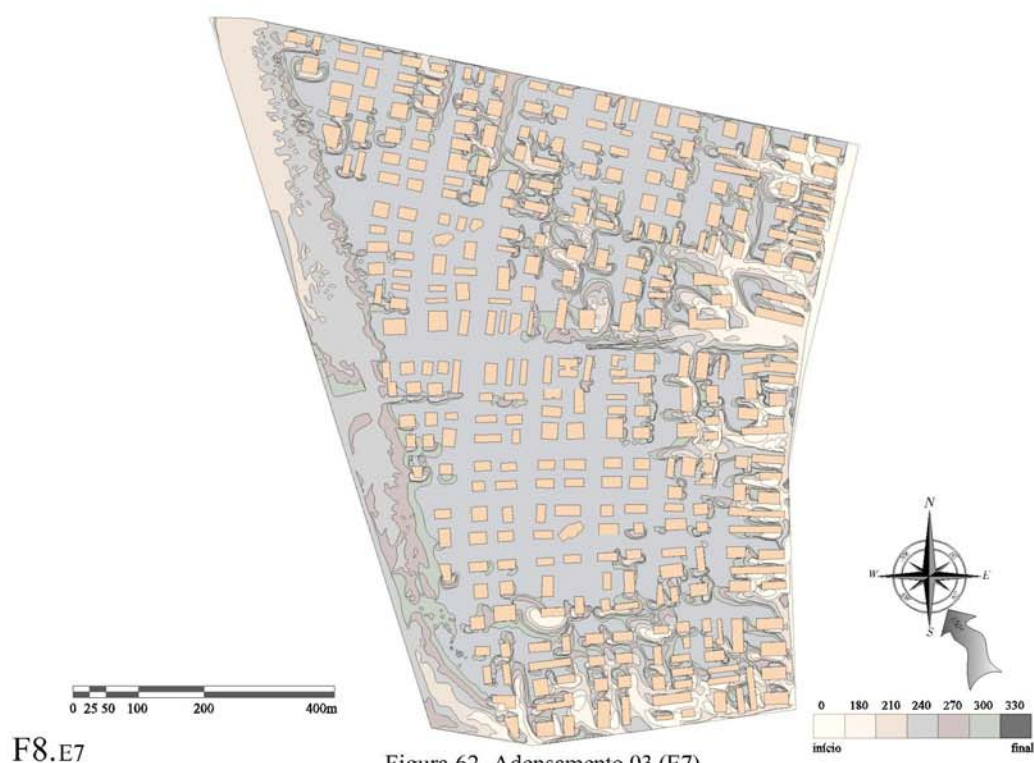


Figura 62. Adensamento 03 (E7)

Vê-se na porção central do **Adensamento 03 (vento incidente a 150°)** uma zona considerável de retenção de areia que se estende em direção à porção noroeste da área denotando suas más condições de ventilação. As canalizações geradas na porção leste da maquete e na sul, como atestam as isolinhas de velocidade do escoamento, são pouco significativas para a sua finalidade. A retenção da areia sobre a maquete ocorre em 37,81 % da área, significando que grande parte das edificações mantêm-se em zonas de estagnação do vento.

Figuras de Erosão do Adensamento 04 (E8) – Rumo de Vento 90°

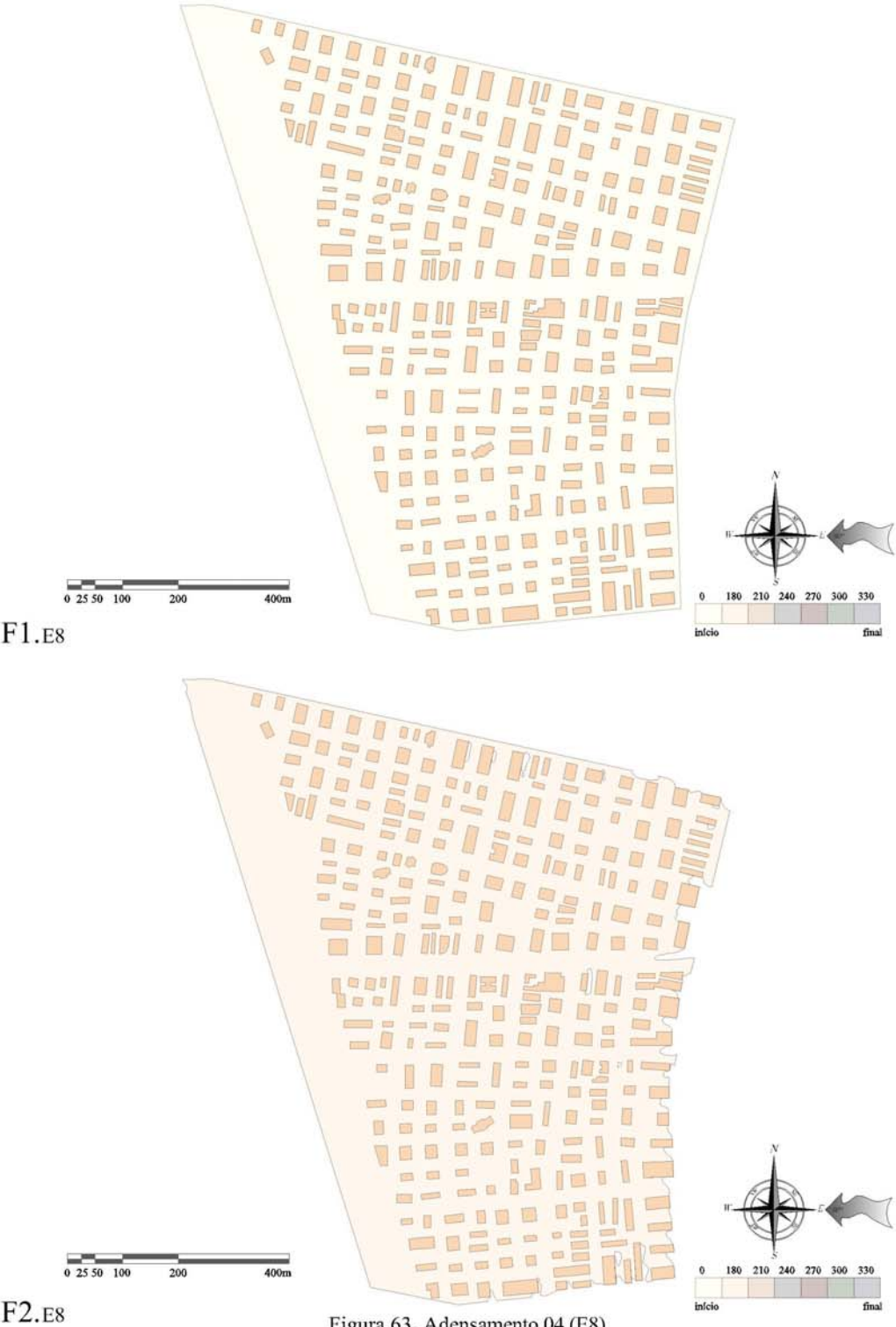
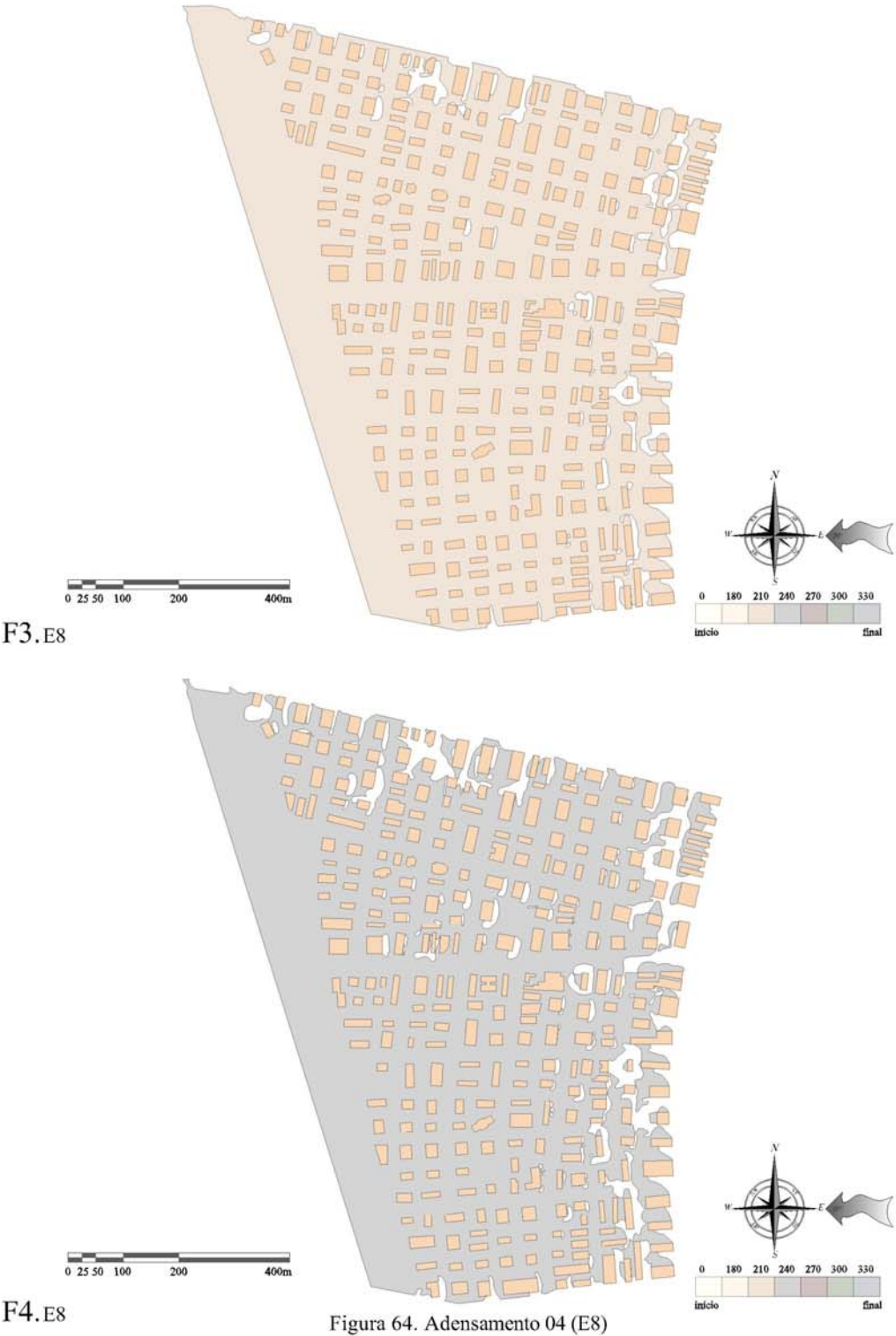
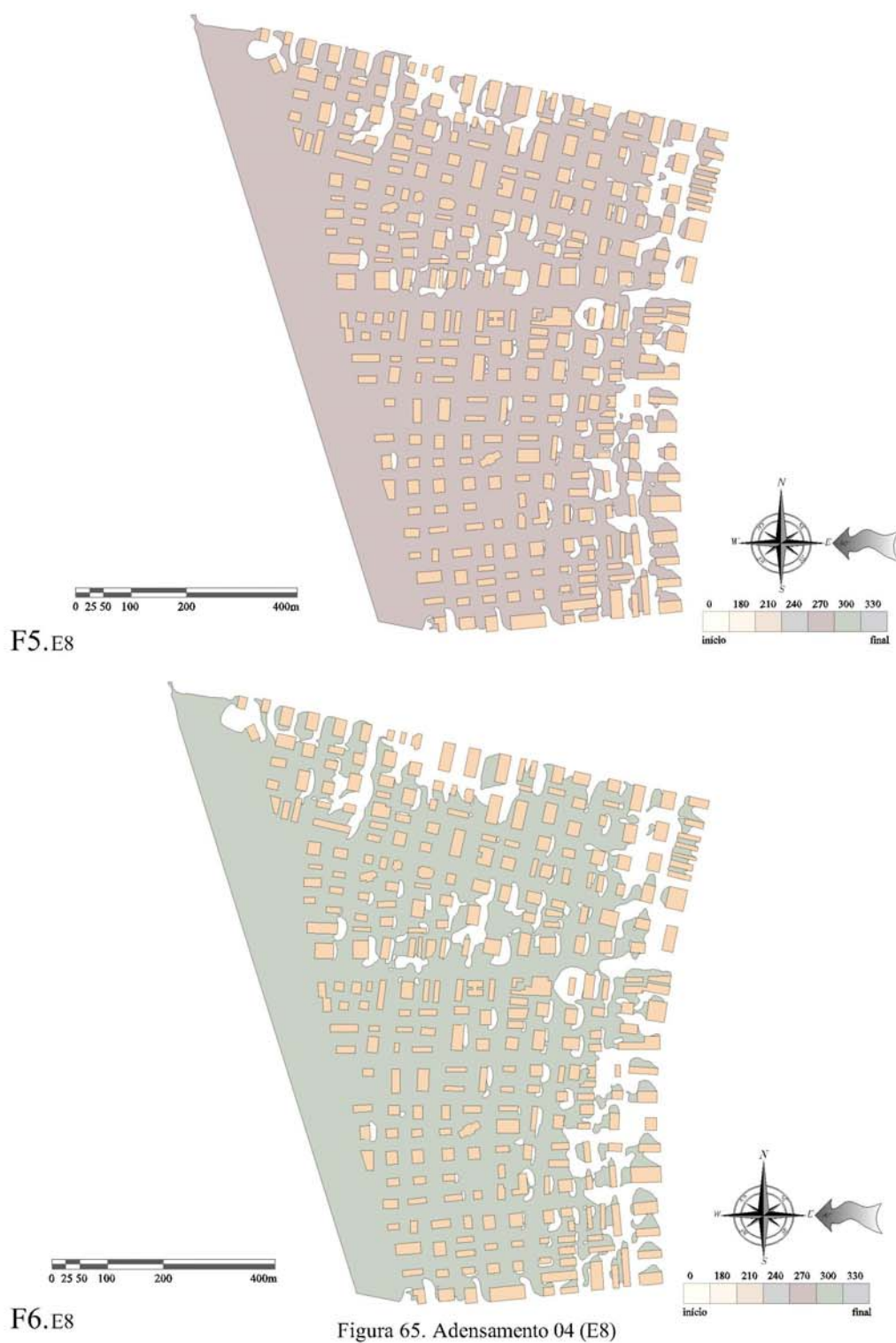


Figura 63. Adensamento 04 (E8)

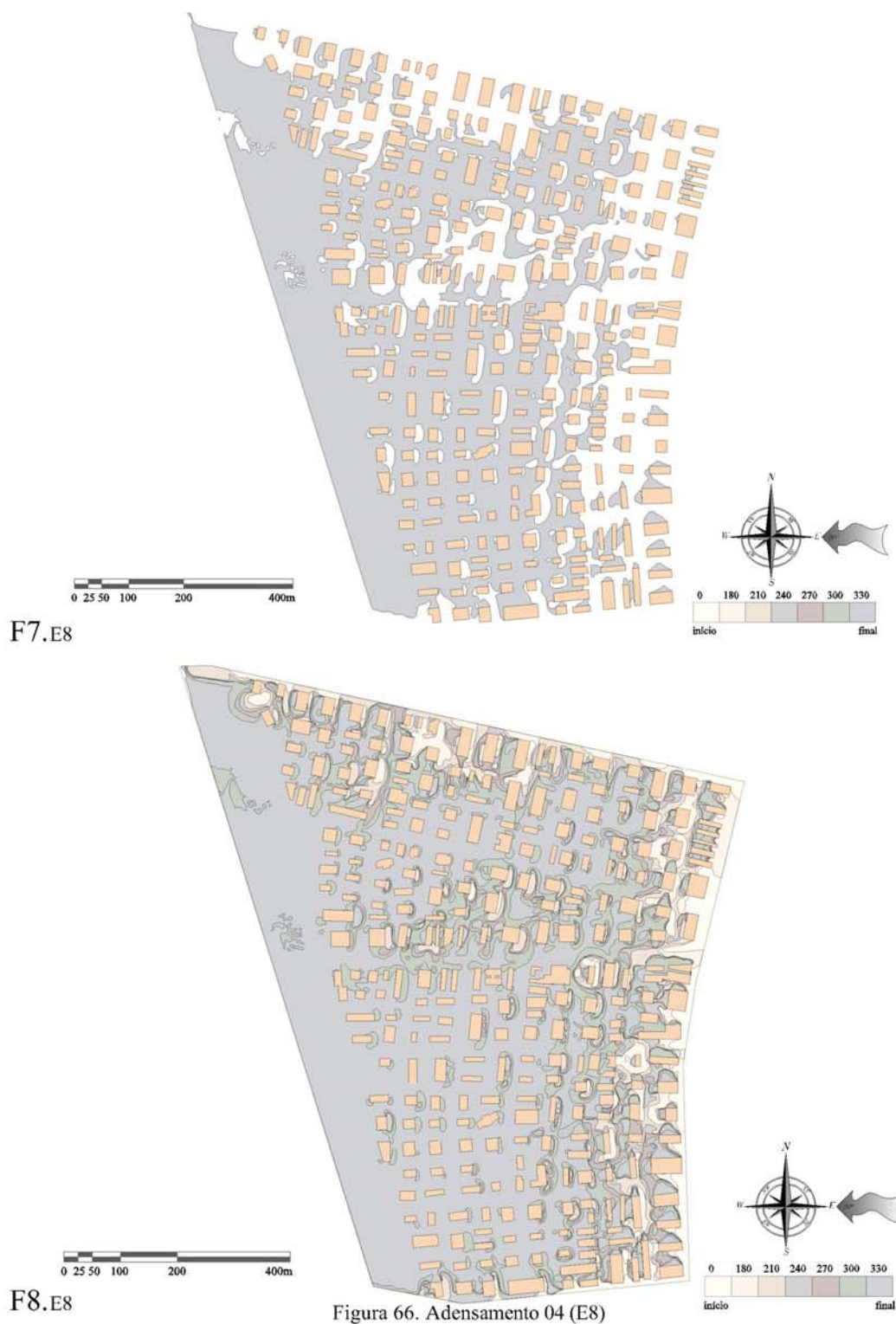
Figuras de Erosão do Adensamento 04 (E8) – Rumo de Vento 90°



Figuras de Erosão do Adensamento 04 (E8) – Rumo de Vento 90°

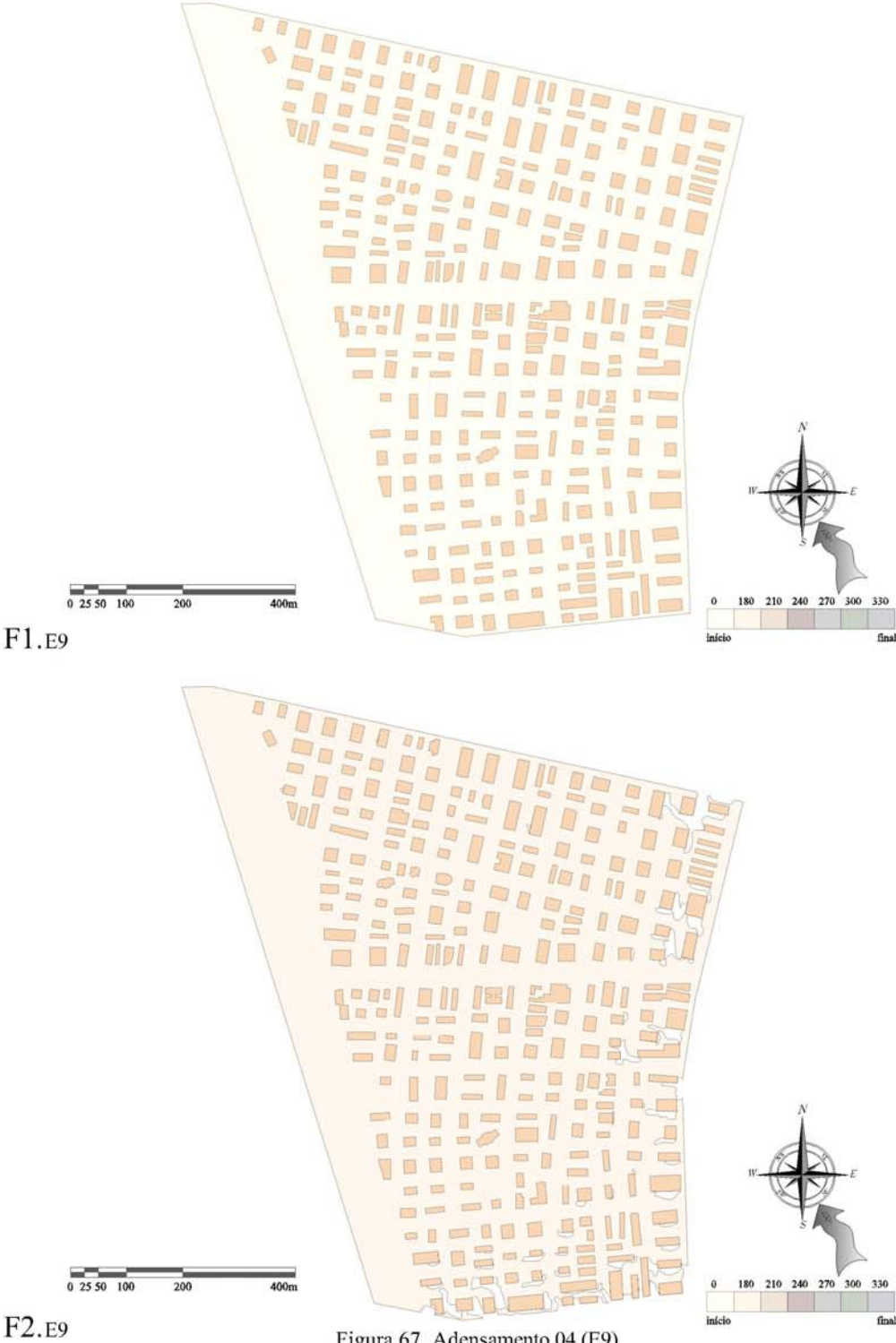


Figuras de Erosão do Adensamento 04 (E8) – Rumo de Vento 90°

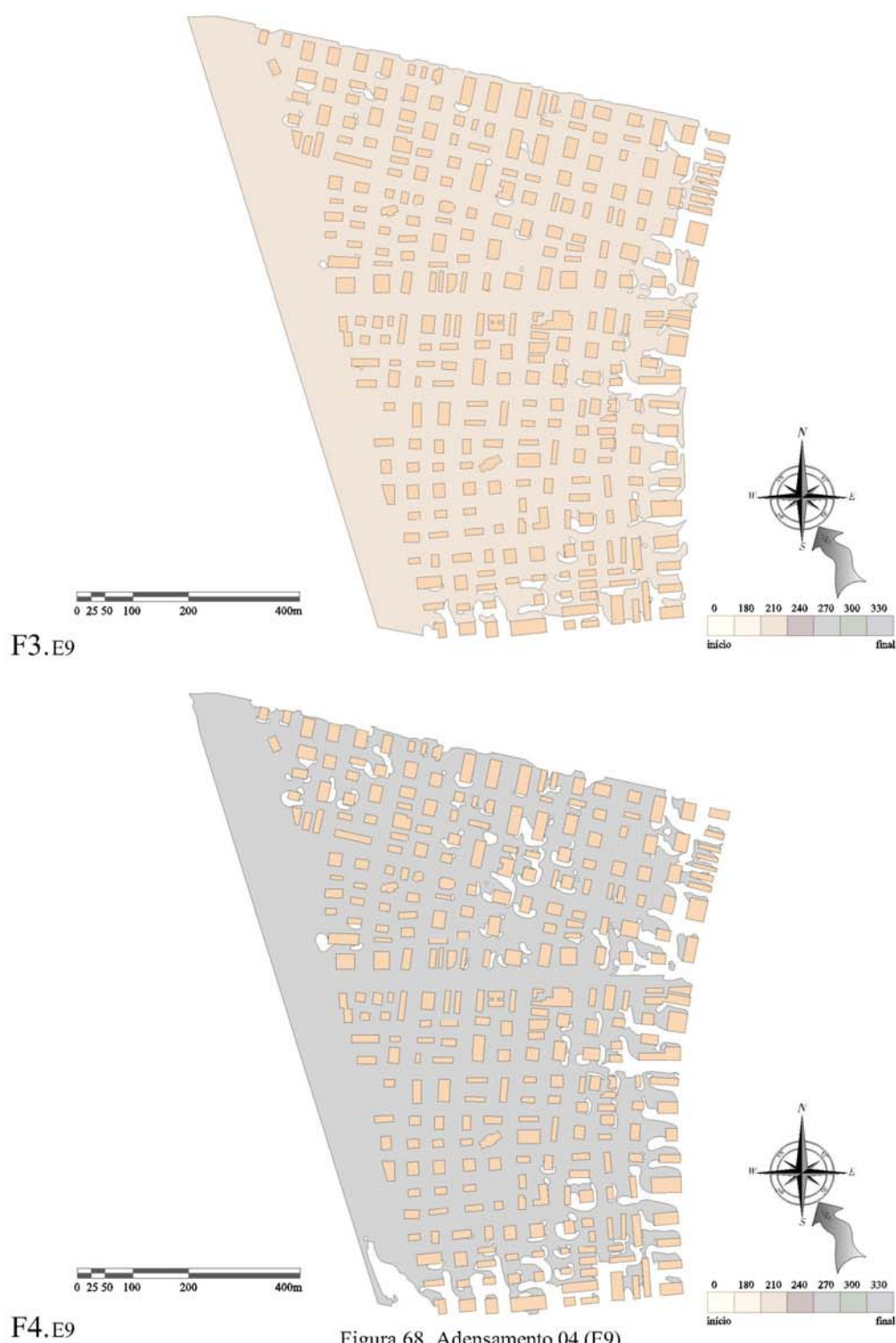


Com relação ao **Adensamento 04 (vento incidente a 90°)**, ficam bastante claras as condições de ventilação a que se submete a área em estudo. Pode-se verificar uma razoável distribuição do escoamento sobre a maquete (entre os edifícios) através das áreas erodidas, ainda assim, conduzindo à elevação da camada limite.

Figuras de Erosão do Adensamento 04 (E9) – Rumo de Vento 150°



Figuras de Erosão do Adensamento 04 (E9) – Rumo de Vento 150°



Figuras de Erosão do Adensamento 04 (E9) – Rumo de Vento 150°

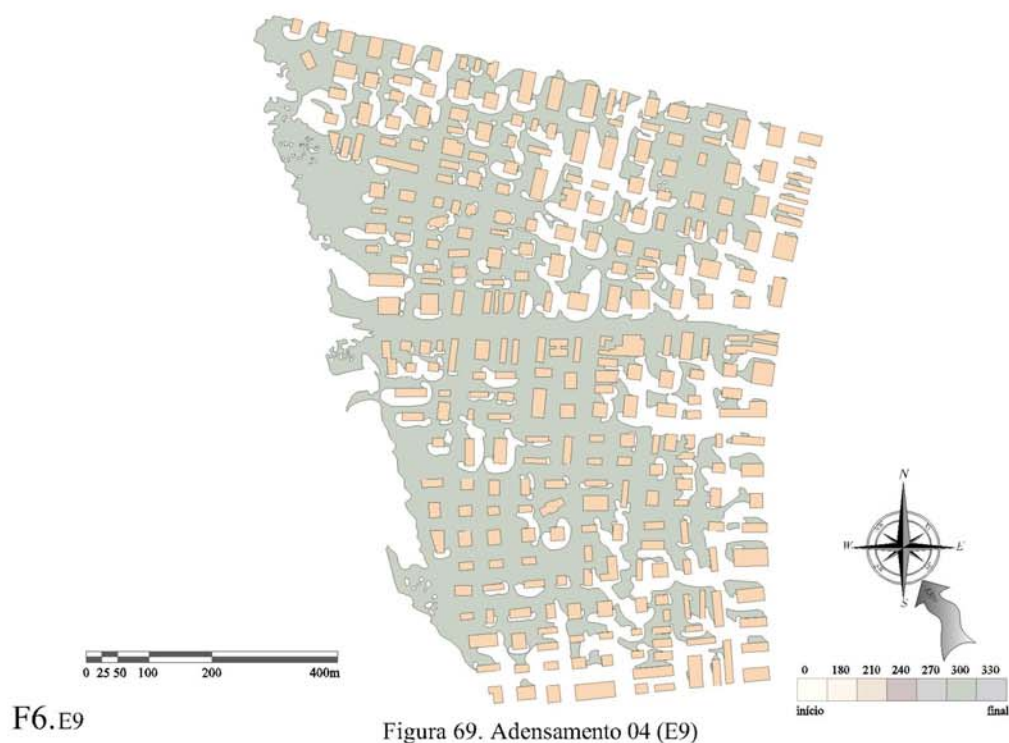
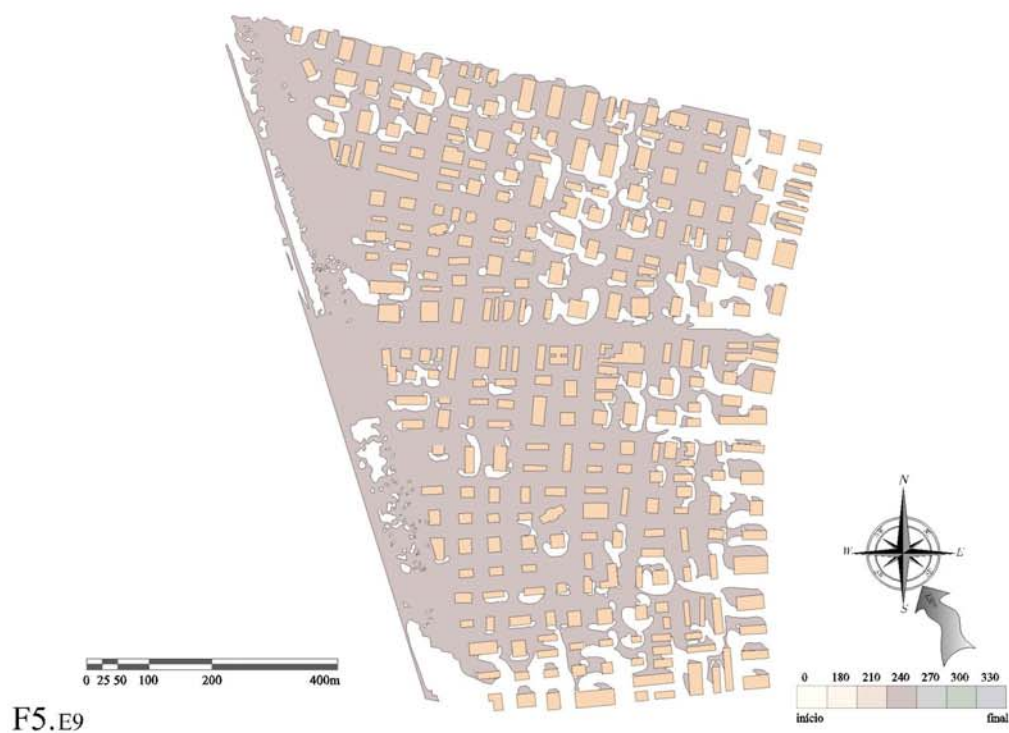


Figura 69. Adensamento 04 (E9)

Figuras de Erosão do Adensamento 04 (E9) – Rumo de Vento 150°

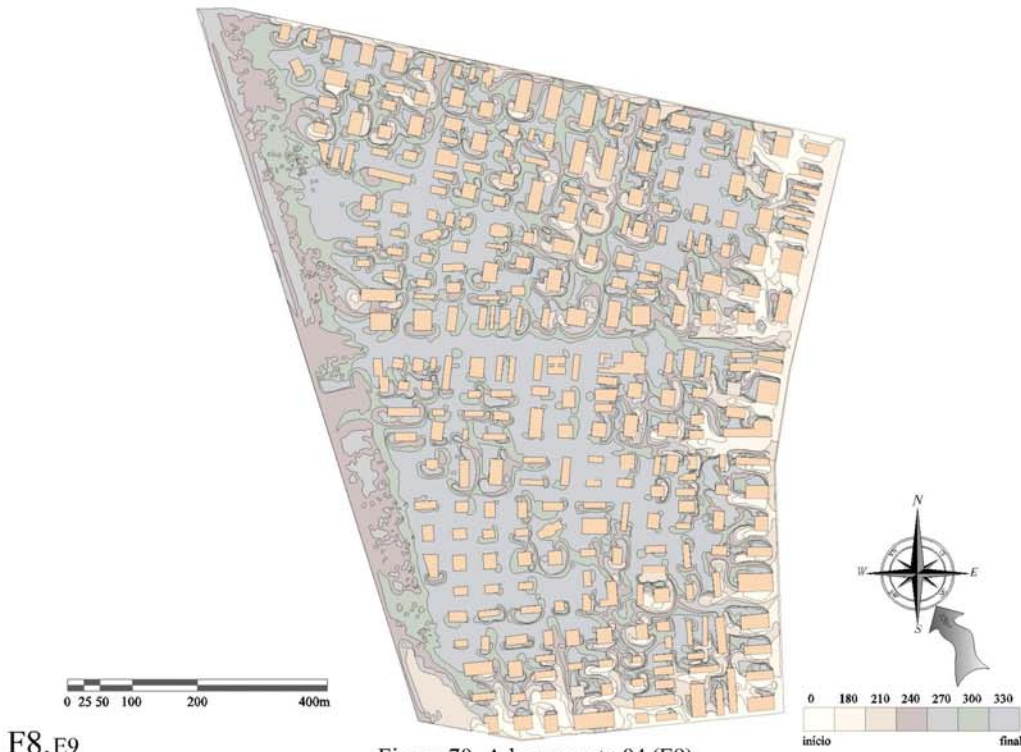
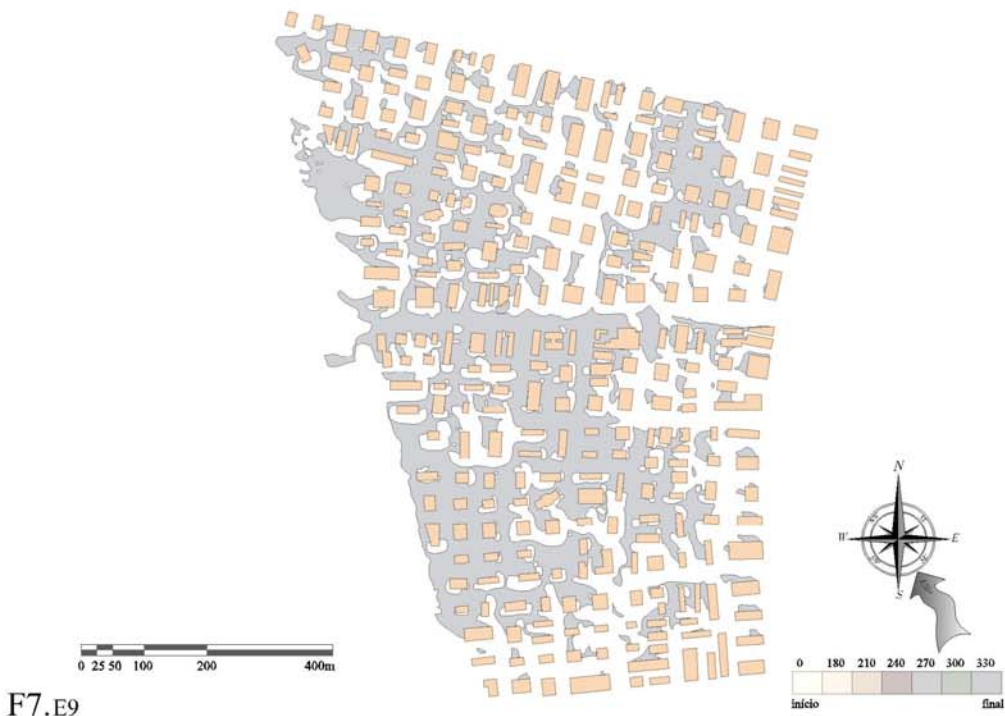


Figura 70. Adensamento 04 (E9)

O **Adensamento 04 (vento incidente a 150°)**, detém, como pode ser observado pelas isolinhas de velocidade do escoamento nele incidentes, condições de ventilação bem distribuídas pela área. Apesar de não se verificarem canalizações muito significativas, as zonas de estagnação são relativamente reduzidas (27,81 %). A disseminação das áreas erodidas demonstra a permeabilidade do adensamento aos escoamentos de ventos, fazendo com que a grande maioria das edificações permaneça em zonas consideradas bem ventiladas.

7.DISSCUSSÃO DOS RESULTADOS

PERFIS DE VELOCIDADE

Comparando-se os perfis de velocidade gerados pelos Adensamentos 01 e 02 percebe-se que a situação atual (Adensamento 01) em termos de velocidade do escoamento e da elevação da CLA se mostra menos favorável. No Adensamento 01, nos pontos 3 e 4, a camada limite se eleva de forma mais rápida do que nos seus correspondentes no Adensamento 02, enquanto que, principalmente, os pontos 1 e o 2 têm maior aceleração nas camadas mais baixas, elevando-se a partir destas rapidamente. A situação tende a agravar-se quando se comparam o Adensamento 03 com o Adensamento 01, bastando para tanto que se observe que os perfis, excetuando-se o de referência, demonstram tendência a desenvolvimento de velocidades baixas nas cotas menores e, ao mesmo tempo, indicam a elevação da camada limite a partir destas com aceleração considerável. Já os perfis correspondentes ao Adensamento 04, quando comparados com os outros três que lhe antecedem, demonstram como dito anteriormente nos resultados, que se os julguem mais desfavoráveis. Entretanto, há que se ter em conta as interações entre o adensamento em altura, os afastamentos entre edifícios, a falésia e os escoamentos locais. Os efeitos de frenagem impressos aos escoamentos pela falésia do Cabo Branco (pouco perceptíveis nos perfis correspondentes aos primeiros pontos medidos, acentuam-se neste último) somados aos efeitos dinâmicos do vento e à turbulência provocada pelo padrão de ocupação proposto, incrementam a sua elevação, como seria de se esperar.

FIGURAS DE EROSÃO com vento incidente a 90°

Comparando-se o Adensamento 01 com o Adensamento 02, torna-se patente a redução da ventilação interna da área em estudo apesar da canalização observada na Av. Epitácio Pessoa intensificar-se neste. Percebe-se que áreas antes ventiladas permanecem agora praticamente numa grande zona de estagnação do escoamento. Esta situação agrava-se significativamente quando se observa no Adensamento 04 o aumento das áreas de estagnação. Neste adensamento percebe-se além da canalização já comentada, uma outra área de estagnação ao norte desta, e outras de menor porte distribuídas na porção leste de toda a maquete. Observando-se a figura de erosão relativa ao Adensamento 04, quando comparado com os outros três, torna-se nítido o comprometimento da área em termos de quantidade de ventilação.

Cruzando as informações obtidas dos perfis de camada limite e das figuras de erosão obtidas dos ensaios acima comentados, faz-se necessário tecer alguns comentários objetivando o melhor entendimento das inter-relações existentes entre os escoamentos e o padrão de ocupação do solo. Neste sentido, tomando-se os perfis de velocidade e as figuras de erosão correspondentes ao Adensamento 01, torna-se relativamente fácil entender o comportamento dinâmico do vento de forma tridimensional. A volumetria gerada pelo conjunto de edificações de maneira escalonada conduz forçosamente a uma elevação da camada limite, reduzindo desta maneira a possibilidade de entrada do escoamento na área.

Isto, além de ficar demonstrado já a partir do segundo adensamento, intensifica-se à medida que se adentra a área estudada, como pode ser interpretado pelos resultados até agora expostos.

Desta forma, os resultados relativos ao Adensamento 02, se comparados com os relativos ao Adensamento 01, demonstram uma intensificação das interrelações antes

comentadas. Avolumam-se as áreas onde as velocidades dos escoamentos tendem para zero e as erodidas dispersam-se de forma “tímida,” não representando qualquer benefício para a área. Tal situação torna-se ainda mais preocupante ao se olhar para a figura de erosão referente ao Adensamento 03. Apesar das canalizações tornarem-se um pouco mais expressivas, o que não significa resolver a questão, a grande maioria dos edifícios encontra-se numa área de estagnação.

No Adensamento 04, a situação agrava-se ainda mais. Boa parte das canalizações é reduzida, o que significa que a camada limite elevou-se já a partir da porção leste da área. Isto resulta, de certa forma, da interação entre a falésia do Cabo Branco e o escoamento incidente sobre ela perpendicularmente. Pode-se perceber de forma mais clara a frenagem impressa por ela ao escoamento, do que resulta a já citada elevação. Tenha-se em conta que os efeitos de frenagem começam já a serem sentidos desde o primeiro ponto medido. Um outro resultado desta interação, diz respeito à relação existente entre o gabarito em altura utilizado e os afastamentos propostos que, para este ângulo de incidência do escoamento, mostram-se insuficientes. Considere-se ainda que a calha da Avenida Epitácio Pessoa, com o aumento do gabarito em altura proposto e a rugosidade tanto dos edifícios que a ladeiam longitudinalmente quanto a referente ao leito da avenida, juntamente com a relação largura da avenida/altura dos edifícios, impõem um forte atrito ao escoamento nela incidente, fazendo-o elevar-se consideravelmente. Tais interações dão-se de maneira totalmente diferenciada para o rumo 150°, como será discutido mais adiante. Ao final de cada comentário serão apresentados gráficos com os resultados percentuais comparativos das áreas não erodidas entre cada um dos adensamentos para os dois rumos estudados, permitindo, desta forma, uma visão mais completa destes.

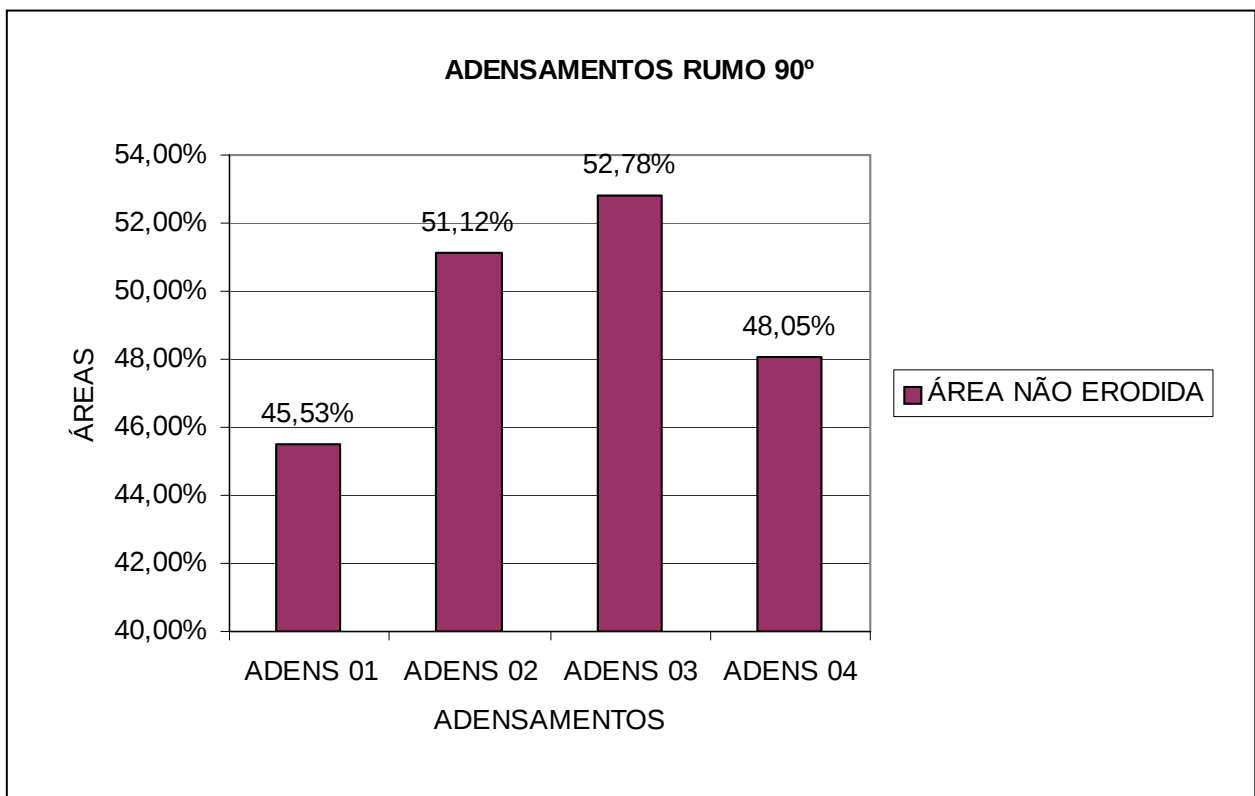


Gráfico 10 – Comparação entre áreas não erodidas (rumo 90°)

FIGURAS DE EROSÃO com vento incidente a 150°

Confrontando-se os resultados constantes das figuras de erosão relativas aos Adensamentos 01 e 02 torna-se patente, à primeira vista, a permeabilidade significativa ao vento no Adensamento 01 frente ao 02. Enquanto no 01 as figuras de erosão deixam clara (por conta ainda do adensamento rarefeito) a penetração dos escoamentos no interior da área estudada, no 02, a deposição de areia demonstra a grande parcela da área submetida à estagnação dos escoamentos locais. Isto decorre provavelmente do escalonamento das construções desde a beira mar para o continente, fazendo com que a camada limite se eleve significativamente. Em ambos os casos, não se detectam canalizações consideráveis, o que impede, por um lado, as trocas térmicas e, por outro, a quantidade e a qualidade do ar. Olhando-se para o Adensamento 03 vê-se, rapidamente, a discrepância existente entre este e

os demais. Note-se que as áreas nas quais as velocidades do escoamento tendem para zero são significativamente maiores, o que conduz ao entendimento de que exatamente na faixa onde são permitidas construções em altura mais elevada é onde reside a maior questão. Isto é, o adensamento vertical nestas áreas de estagnação do escoamento é onde se encontra o maior número de unidades habitacionais com adensamento vertical. Tal situação é inversa no Adensamento 04. Portanto, bastante aceitável, vindo a confirmar estudos anteriores. A distribuição do escoamento na área estudada (Adensamento 04) dá-se de forma bem mais equilibrada, privilegiando um número de unidades habitacionais consideravelmente maior do que nos outros três adensamentos comentados. Vale ressaltar que este adensamento não constitui proposta conclusiva a ser implementada e sim um estudo técnico que pode dar suporte a outros mais amplos e aprofundados sobre a questão da verticalização.

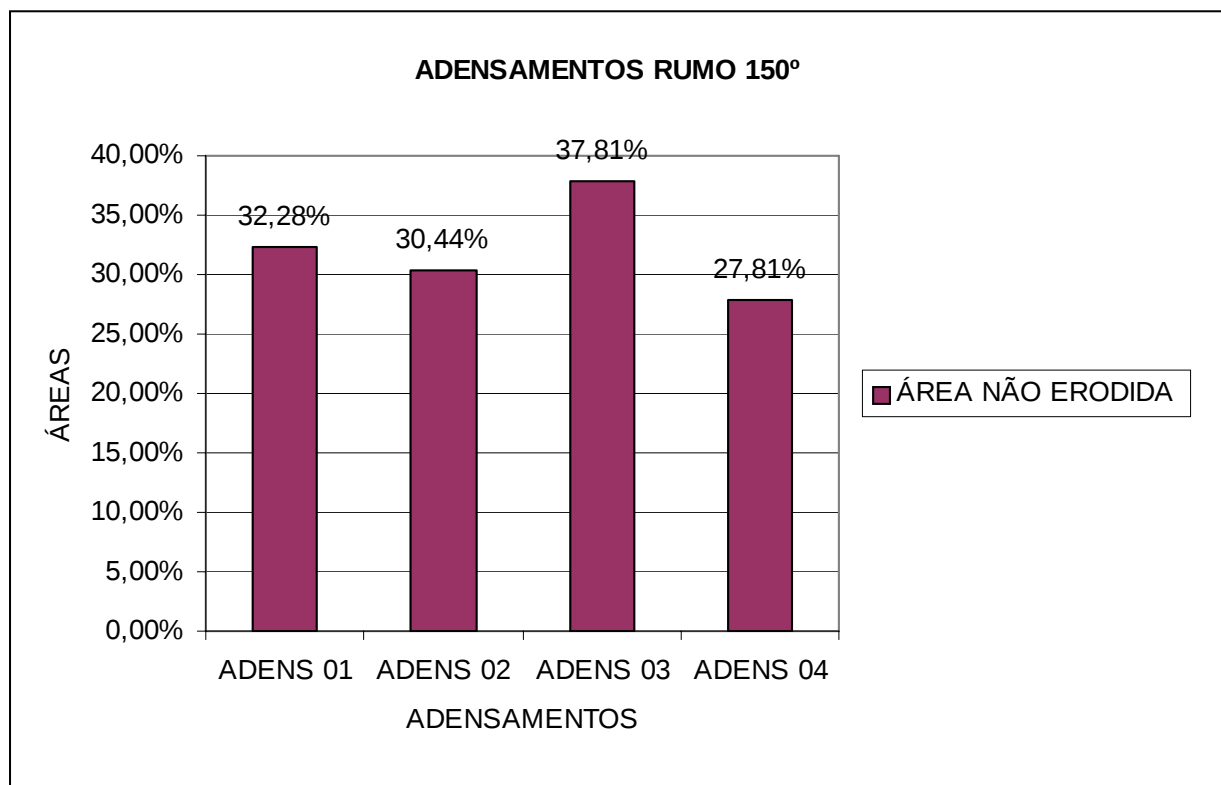


Gráfico 11– Comparação entre áreas não erodidas (rumo 150°)

8.CONCLUSÕES

Como se pode perceber, a questão da verticalização não é de fácil resolução, o que conduz à necessidade de estudos mais aprofundados das questões ligadas ao planejamento de ocupação do solo com relação aos escoamentos, que por sua vez ditam parâmetros para grandes decisões que se refletem no bem-estar (conforto térmico devido ao vento) e no planejamento consciente do uso da energia elétrica.

Dos resultados obtidos pode-se constatar que:

- Nem sempre a verticalização conduz obrigatoriamente a resultados indesejáveis;
- O escalonamento como proposto pela legislação vigente compromete a área em apreço referentemente às condições de ventilação natural e conseqüentemente à qualidade do ar em termos olfativos e respiratórios, conforme já constatado em estudos anteriores;
- Os ventos alísios que sopram sobre a cidade, sem nenhum ônus para quem quer que seja, estão, de certa forma, sendo mal aproveitados;
- Se faz necessária uma revisão nos dispositivos legais do ordenamento urbano.

O que permite concluir que:

- A observação da legislação existente trará sérios problemas para a cidade, por ser ela totalmente equivocada em termos de planejamento do vento quanto ao conforto térmico, ao consumo energético e ao aproveitamento dos ventos;
- Alterando-se os afastamentos praticados, mesmo que se eleve o gabarito em altura das edificações, como estudado no Adensamento 04(todos os edifícios

com 17 pavimentos), promovem -se condições de ventilação bastante aceitáveis;

- As condições de ventilação natural estudadas no Adensamento 04 proporcionam maior dispersão dos poluentes, garantindo conseqüentemente uma melhor qualidade do ar;
- Com tais condições de ventilação, pelos escoamentos penetrarem com mais facilidade na malha urbana, são favorecidas as trocas térmicas, podendo reduzir as possibilidades de formação de *ilhas de calor*;
- Finalmente, os resultados obtidos dos experimentos referentes ao Adensamento 04, ao contrário do Adensamento 03, resultariam em melhor qualidade de vida (conforto térmico, conforto lumínico, saúde em termos de qualidade olfativa e respiratória do ar), de racionalização de energia e principalmente da quantidade de unidades habitacionais beneficiadas, ultrapassando de longe os resultados obtidos nos adensamentos escalonados propostos pela Lei.

9.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, Virgínia Maria Dantas de. **Parâmetros de conforto térmico para usuários de edificações escolares no litoral nordestino brasileiro**. 1996. Tese (Doutorado em Arquitetura). FAU/USP. São Paulo.

ASSIS, E. S. de. **Mecanismos de desenho urbano apropriados a atenuação da ilha de calor urbana: análise de desempenho de áreas verdes em clima tropical**.1990. Dissertação (Mestrado em Arquitetura). FAU/UFRJ. Rio de Janeiro.

BLANPLAIN, R. P. **L'exposition de Lisbonne et le vent: problème de: - transposition banlieu/centre ville; confort humain**. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1995.

BLEVINS, R. D. **Applied fluid dynamics handbook**. New York. Van Nostrand Reinhold Company, 1984.

CARVALHO, Homero Jorge Matos de. **Parâmetros climatológicos para o estudo do balanço termo-energético de edificações da cidade de João Pessoa – PB**. 2001. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). UFRN. Natal.

CHANDLER, T. J. **Urban climatology and its relevance to urban design**. WMO – Nº 438, Geneva: 1976.

CLARKE, J. F. and BACH, W. **Comparison of comfort conditions in different urban and suburban microenvironments**. Int. J. Biometeor., vol. 15, number 1, p. 41-54, 1971.

EVANS, B. H. **Natural air flow around buildings**. Research Report Nº. 59, Texas Engineering Experiment Station, College Station, Texas: 1957.

FANGER, P. O. **Thermal Comfort**. EUA. Mac Graw-Hill, 1972.

GANDEMER, J., GUYOT, A. **Intégration du phénomène vent dans la conception du milieu bâti**. Paris: Ministère de la Qualité de la Vie, 1976.

GANDEMER, J., GUYOT, A. **La protection contre le vent – aérodynamique des brise-vent et conseil pratiques**. Paris: CSTB – Centre Scientifique et conseils pratiques, 1981.

GIVONI, B. **Man, Climate and Architecture**. London: Elsevier, 1976.

JANEIRO BORGES, A.R.; GIL SARAIVA, J. A. **An erosion technique for assessing ground levels winds**. Wind Engineering (Ed. J.E., Cermak) N.Y.: Pergamon Press, 1980.

KOENIGSBERGER, O. H. et al. **Viviendas y Edificios en zonas Calidas y Tropicales**. Madrid: Paraninfo, 1977.

LANDSBERG, H. E. **The Urban Climate**. Maryland: Academic Press, 1981.

LOMBARDO, M. A. **Ilha de Calor nas Metrôpoles – O exemplo de São Paulo**. São Paulo: Hucitec, 1985.

MARINO, M. et al. **Glossário de termos usuais em ecologia**. São Paulo: ACIESP, 1980.

MASCARÓ, L. R. de **Energia na edificação-estratégia para minimizar o seu consumo**. São Paulo: Projeto Editores Associados, 1986.

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e clima urbano**. 1975. Tese (Livre-Docência). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. USP. São Paulo.

MONTEIRO, C. A. F. **O Clima e a Organização do Espaço no Estado de São Paulo**. São Paulo: Instituto de Geografia. USP, 1976.

MORAES, J. C. **Condições de conforto térmico de uma edificação de tijolos de terra crua**. 1999. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente). UFPB. João Pessoa.

MOREIRA, I. **O Espaço geográfico: Geografia Geral e do Brasil**. São Paulo: Ática, 2001.

MOTA, S. **Urbanização e meio ambiente**. 2. ed. São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES, 1999.

OLGYAY, V. **Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism**. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1973.

PATRÍCIO, A. M., NUNES, J. M., RITA, J. P. **Conforto Térmico no Interior de Edifícios - Energias Renováveis**. 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). IST. Lisboa.

PREFEITURA MUNICIPAL DE JOÃO PESSOA. Plano diretor da cidade de João Pessoa. João Pessoa: Gráfica e Editora Ltda., 1994.

RIBEIRO, E. L. **Aspectos estruturais da forma urbana: suas influências na concentração de poluentes atmosféricos e nos impactos receptivos – alternativas de planejamento urbano para o caso de São Paulo**. 1993. Tese (Doutorado em). Escola Politécnica da USP. São Paulo.

ROCKLE, R. **Bestimmungen der Stromungsverhältnisse im Bereich komplexer Bebauungsstrukturen**. 1990. Dissertation (Fachbereich Mechanik). T H Darmstadt.

SAMPAIO, A. H. L. **Correlações entre o uso do solo e as ilhas de calor em Salvador**. 1981. Dissertação (Mestrado em Geografia). FFLCH-USP. São Paulo.

SARAIVA, J. A. G. **Aerodinâmica dos edifícios altos: características do escoamento e resposta à turbulência de formas prismáticas**. 1983. Tese (Concurso para Especialista do Laboratório Nacional de Engenharia Civil). LNEC. Lisboa.

SARAIVA, J. A. G. **Campo de velocidades de atrito num parque de carvão**. Lisboa: LNEC, 1988.

SARAIVA, J. A. G. **Modelação em mecânica dos fluidos. Aspectos aerodinâmicos: a circulação de comboios.** Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1991.

SARAIVA, J. A. G. **Boundary layer above urban areas.** Lisboa: PASCOOL Meeting. LNEC, 1994.

SARAIVA, J. A. G. Acção do vento e nível de conforto em espaços urbanos. In: Encontro de Professores de Conforto Ambiental 1994. João Pessoa.- Paraíba. **Anais dos Resumos dos Trabalhos.** João Pessoa: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente construído, 1995. p.23-31.

SCHMALTZ, J. - **Das Stadtklima-** Verlag C. F. Muller, Karlsruhe, 1984.

SENE, E. de; MOREIRA, J. C.. **Geografia Geral e do Brasil – espaço geográfico e globalização.** São Paulo: Scipione, 1999.

SILVA, F. A. G. da. **O vento como ferramenta no desenho do ambiente construído: uma aplicação ao nordeste do Brasil.** 1999, 234 p. Tese (Doutorado em Arquitetura). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Paulo (1999)

SORRE, M. L'adaptation au milieu climatique et bio-social. Géographie psychologique. In:PIÉRON, HENRI (org). **Traité de psychologie appliquée.** Paris: PUF, 1954. In: MEGALE, J. F. ; FERNANDES, F. Max Sorre – Geografia. São Paulo: Ática, 1984. (1934)

TARIFA, J. R. **Análise Comparativa da Temperatura e Umidade na Área Urbana e Rural de São José dos Campos.**Rio Claro: Geografia, 1977.

ZENGER, A., BACHLIN, W. u. LOHMEYER, A. **Windkanaluntersuchungen als Hilfsmittel zur Stadtklimatologischen Baufolgenabschätzung.** Ingenieurburo Lohmeyer, Karlsruhe, 1996.

SITES VISITADOS :

IBGE: <http://www.ibge.gov.br>

IDEME: <http://www.ideme.pb.gov.br>

INMET: <http://www.inmet.gov.br>

INTERPA: <http://www.interpa.pb.gov.br>

10.ANEXOS

ANEXO A – A EQUAÇÃO DE BERNOULLI

c A EQUAÇÃO DE BERNOULLI

Esta equação foi formulada em 1738 por Daniel Bernoulli com base na Lei da Conservação de Energia. Considere um tubo cuja extremidade inicial é mais fina que a final, e ainda que, internamente escoa um fluido com vazão constante de maneira que o volume que entra, sai com uma densidade constante. Se z_1 , p_1 , e v_1 são respectivamente altura, pressão e velocidade do fluido que entra e z_2 , p_2 e v_2 são também de forma respectiva a altura, pressão e velocidade do fluido que sai, então a Equação de Bernoulli é escrita como se segue:

$$P_1/\rho + \frac{1}{2} v_1^2 + gz_1 = P_2/\rho + \frac{1}{2} v_2^2 + gz_2$$

Juntando as duas equações e considerando que a altura de entrada é igual à de saída, percebe-se que caso a velocidade do líquido aumente em qualquer ponto do trajeto, ocorrerá uma redução na pressão do fluido, sendo a recíproca também verdadeira.

Levando-se em conta um tubo contendo um fluido incompressível cuja seção apresentada na metade do seu comprimento sofre uma redução da ordem de 50%, é possível concluir que a pressão aumenta durante a passagem por este trecho mais estreito do tubo, visto que o mesmo volume do fluido será forçado a passar por uma área menor. Fazendo uso da Equação de Bernoulli para uma análise, é possível perceber que a vazão sendo a mesma para qualquer ponto do fluido, no trecho de menor área ocorrerá então uma maior velocidade e conseqüentemente, menor pressão.

ANEXO B- LEGISLAÇÃO LOCAL

ZONA AXIAL TAMBAÚ (ZA3)

USOS	LOTE *		EDIFICAÇÃO					
	ÁREA MÍNIMA	FRENTE MÍNIMA	OCUPAÇÃO MÁXIMA	(A) APROVEIT. MÁXIMO	(B) ALTURA MÁXIMA	AFASTAMENTOS		
						FRONTAL	LATERAL	FUNDOS
R1	360	12	50	1,0	--	5,0	1,5	3,0
R2	450	15	50	1,0	2PV	5,0	1,5	3,0
R5	600	20	30	1,2	4PV	5,0	4,0	5,0
R5 (1)	600	20	40	1,8	PL+4PV+CB	5,0	4,0	5,0
R6	600	30	30	4,0	--	5,0	4+ (H/10)	4+(H/10)
CL=SL	360	12	50	1,5	3PV	5,0	1,5	3,0
CB=SB	450	15	70	2,1	3PV	5,0	TE=0 DE=2	2,0
CP=SP	600	20	TE + 2 =70 DE = 40	4,0	--	6,0	TE = 0 ATÉ 2º = 2 DE=4+(H/10)	TE=2 DE = 4+(H/10)
CP, SP/R6 (2)	900	30	TE =70 DE = 40	4,0	--	6,0	TE+1= 2 DE=4+(H/10)	TE=2 DE =4+(H/10)
IB	600	20	50	1,0	2PV	6,0	2,0	3,0
IPP (3)	360	12	50	1,0	2PV	5,0	1,5	3,0

(1) PODE SER UTILIZADO O SUBSOLO OU SEMI-SUBSOLO (RECUO FRONTAL =2,0M); PODE SER UTILIZADO MEZANINO PARA LAZER COM NO MÁXIMO 30% DA ÁREA FECHADA; EM AMBOS OS CASOS AS ÁREAS NÃO VÃO INCIDIR NO CÁLCULO DO ÍNDICE DE APROVEITAMENTO; PODE OCUPAR O PILOTIS COM CL E SL DESDE QUE ATENDIDOS O NÚMERO DE VAGAS PARA AUTOS (2).SERÁ OBRIGATÓRIO O ANDAR VAZADO (OU PILOTIS GARAGEM) SOBRE O USO COMERCIAL COMO FORMA DE ISOLAMENTO DA ATIVIDADE COMERCIAL E/OU SERVIÇO DO USO RESIDENCIAL

(3). MICROEMPRESA CLASSIFICADA COMO NÃO POLUENTE EM TODOS OS NÍVEIS.

(A) VER MACROZONEAMENTO QUE ESTABELECE O ÍNDICE DE APROVEITAMENTO MÁXIMO POR ZONA, ARTIGOS 8, 9, 10, 11, 12 E 13 DO PLANO DIRETOR DA CIDADE.

(*) LOTES APROVADOS ANTES DA LEI Nº 2.102/75 COM DIMENSÕES INFERIORES ÀS EXIGIDAS PARA A ZONA, SERÃO CONSIDERADOS PRÓPRIOS PARA CONSTRUÇÕES DESTINADAS AOS USOS R1, CL E SL.

LEGENDA: SS=SUBSOLO OU SEMI-SUBSOLO; TE=TÉRREO; PL=PILOTIS; MZ=MEZANINO; PV=PAVIMENTO TIPO; CB=COBERTURA; DE=DEMAIS PAVIMENTOS.

ZONA RESIDENCIAL 1 (ZR1)

USOS	LOTE *		EDIFICAÇÃO					
	ÁREA MÍNIMA	FRENTE MÍNIMA	OCUPAÇÃO MÁXIMA	(A) APROVEIT. MÁXIMO	(B) ALTURA MÁXIMA	AFASTAMENTOS		
						FRONTAL	LATERAL	FUNDOS
R1	360	12	50	1,0	-	5,0	1,5	3,0
R2 (1)	450	15	50	1,0	2PV	5,0	1,5	3,0
R3 (2)	--	--	50	1,0	2PV	5,0	1,5	3,0
R4	CONDOMÍNIO HORIZONTAL VER ANEXO Nº 09 - FOLHA 02							
R5 (3)	600	15	40	1,8	PL+4PV+CB	5,0	4,0	4,0
R5	600	15	30	1,2	4PV	5,0	4,5	5,0
R6	900	20	30	4,0	--	5,0	4 + (H/10)	4+(H/10)
CL=SL (4)	360	12	50	1,0	2PV	5,0	1,5	3,0
CB=SB	450	15	50	1,5	3PV	6,0	2,0	3,0
IL	600	15	50	1,0	2PV	5,0	3,0	3,0
IPP (5)	360	12	50	1,0	2PV	5,0	1,5	3,0

(1) OS ABRIGOS PARA AUTOMÓVEIS, UM PARA CADA UNIDADE, PODERÃO TER RECUEO LATERAL = 0,0M.

(2) CASAS GEMINADAS OU EM SÉRIE; TODAS AS UNIDADES DEVERÃO FAZER FRENTE PARA A VIA PÚBLICA; COTA MÍNIMA DO LOTE POR HABITAÇÃO = 90M²; FRENTE MÍNIMA POR UNIDADE = 6M; MÁXIMO DE 8 UNIDADES POR BLOCO; AFASTAMENTO ENTRE BLOCOS = 3M; 1 VAGA DE AUTO PARA CADA UNIDADE.

(3) PODE SER UTILIZADO O SUBSOLO OU SEMI-SUBSOLO (RECUEO FRONTAL = 2,0M); PODE SER UTILIZADO MEZANINO PARA LAZER COM NO MÁXIMO 30% DA ÁREA FECHADA; EM AMBOS OS CASOS AS ÁREAS NÃO VÃO INCIDIR NO CÁLCULO DO ÍNDICE DE APROVEITAMENTO; PODE OCUPAR O PILOTIS COM CL E SL DESDE QUE ATENDIDOS O NÚMERO DE VAGAS PARA AUTOS.

(4) AS EXIGÊNCIAS SÃO AS MESMAS PARA O USO R1, EM VIRTUDE DESSES USOS OCORREREM SIMULTANEAMENTE.

(5) MICROEMPRESA CLASSIFICADA COMO NÃO POLUENTE EM TODOS OS NÍVEIS.

(A) VER MACROZONEAMENTO QUE ESTABELECE O ÍNDICE DE APROVEITAMENTO MÁXIMO POR ZONA, ARTIGOS 8, 9, 10, 11, 12 E 13 DO PLANO DIRETOR DA CIDADE.

(B) NA ORLA MARÍTIMA VER ARTIGO 25 DO PLANO DIRETOR DA CIDADE.

(*) LOTES APROVADOS ANTES DA LEI Nº 2.102/75 COM DIMENSÕES INFERIORES ÀS EXIGIDAS PARA A ZONA, SERÃO CONSIDERADOS PRÓPRIOS PARA CONSTRUÇÕES DESTINADAS AOS USOS R1, CL E SL.

CLASSIFICAÇÃO DOS USOS: CL/SL ATÉ 450,0 m²

CB/SB ATÉ 1.300,0 m²

CP/SP ACIMA DE 1300,0m²

LEGENDA: SS=SUBSOLO OU SEMI-SUBSOLO; TE=TÉRREO; PL=PILOTIS; MZ=MEZANINO; PV=PAVIMENTO TIPO; CB=COBERTURA; DE=DEMAIS PAVIMENTOS.

ZONA TURÍSTICA 2 (ZT2)

USOS	LOTE *		EDIFICAÇÃO					
	ÁREA MÍNIMA	FRENTE MÍNIMA	OCUPAÇÃO MÁXIMA	(A) APROVEIT. MÁXIMO	ALTURA MÁXIMA	AFASTAMENTOS		
						FRONTAL	LATERAL	FUNDOS
R1	360	12	50	1,0	--	5,0	1,5	3,0
R2 (1)	360	12	50	1,0	2PV	5,0	1,5	3,0
R3 (2)	450	15	50	1,0	2PV	5,0	1,5	3,0
R4	CONDOMÍNIO HORIZONTAL VER ANEXO Nº 09 - FOLHA 02							
R5 (3)	600	15	40	1,8	PL+4P+CB	5,0	4,0	5,0
R6	900	30	30		(B)	5,0	4+(H/10)	4+(H/10)
CL=SL	360	12	50	1,0	2PV	5,0	1,5	3,0
CB=SB(4)	450	15	50	1,5	3PV	5,0	2,0	3,0
CP=SP(4)	600	20	50	2,0	4PV	6,0	4,0	4,0
IB (4)	600	20	50	1,0	2PV	5,0	4,0	4,0
IPP (5)	360	12	50	1,0	2PV	5,0	1,5	3,0

(1) CASAS GEMINADAS OU EM SÉRIE; TODAS AS UNIDADES DEVERÃO FAZER FRENTE PARA A VIA PÚBLICA; COTA MÍNIMA DO LOTE POR HABITAÇÃO = 50M²; FRENTE MÍNIMA POR UNIDADE = 5M; MÁXIMO DE 8 UNIDADES POR BLOCO; AFASTAMENTO ENTRE BLOCOS = 3M; 1 VAGA DE AUTO PARA CADA UNIDADE.

(2) OS ABRIGOS PARA AUTOMÓVEIS (UM PARA CADA UNIDADE) PODERÃO TER RECUO LATERAL = 0

(3) PODE SER UTILIZADO O SUBSOLO OU SEMI-SUBSOLO (RECUO FRONTAL = 2,0M); PODE SER UTILIZADO MEZANINO PARA LAZER COM NO MÁXIMO 30% DA ÁREA FECHADA; EM AMBOS OS CASOS AS ÁREAS NÃO VÃO INCIDIR NO CÁLCULO DO ÍNDICE DE APROVEITAMENTO; PODE OCUPAR O PILOTIS COM CL E SL DESDE QUE ATENDIDOS O NÚMERO DE VAGAS PARA AUTOS.

(4) HOTÉIS PODERÃO TER TÉRREO COM RECUO LATERAL=0,0 DE DEMAIS=2,0

(5) MICROEMPRESA CLASSIFICADA COMO NÃO POLUENTE EM TODOS OS NÍVEIS.

(A) VER MACROZONEAMENTO, QUE ESTABELECE O ÍNDICE DE APROVEITAMENTO MÁXIMO POR ZONA, ARTIGOS 8, 9, 10, 11, 12, E 13 DO PLANO DIRETOR DA CIDADE.

(B) VER ARTIGO 25 DO PLANO DIRETOR DA CIDADE QUE ESTABELECE A ALTURA MÁXIMA DAS EDIFICAÇÕES

(*) LOTES APROVADOS ANTES DA LEI Nº 2.102/75 COM DIMENSÕES INFERIORES ÀS EXIGIDAS PARA A ZONA, SERÃO CONSIDERADOS PRÓPRIOS PARA CONSTRUÇÕES DESTINADAS AOS USOS R1, CL E SL.

LEGENDA: SS=SUBSOLO OU SEMI-SUBSOLO; TE=TÉRREO; PL=PILOTIS; MZ=MEZANINO; PV=PAVIMENTO TIPO; CB=COBERTURA; DE=DEMAIS PAVIMENTOS.

ANEXO C – ENSAIOS PERFIS CLA

PLANILHAS ENSAIOS PERFIS CLA

CAMADA LIMITE			
CL	10,54		
h (pav)	V	U/Uref	
0,50	6,65	0,63	
1,75	7,81	0,74	
4,25	8,85	0,84	
5,50	9,15	0,87	
6,50	9,20	0,87	
8,00	9,34	0,89	
10,50	9,59	0,91	
13,00	9,82	0,93	
15,50	9,84	0,93	
18,00	10,05	0,95	
20,50	10,13	0,96	
23,00	10,40	0,99	
25,50	10,54	1,00	

ADENSAMENTO 01											
P1			P2			P3			P4		
h (pav)	V	U/Uref	h (pav)	V	U/Uref	h (pav)	V	U/Uref	h (pav)	V	U/Uref
0,50	4,36	0,41	0,50	5,04	0,48	0,50	0,00	0,00	0,50	2,71	0,26
1,75	4,87	0,46	1,75	5,24	0,50	1,75	0,00	0,00	1,75	2,71	0,26
4,25	6,85	0,65	4,25	5,57	0,53	4,25	3,06	0,29	4,25	3,07	0,29
5,50	7,31	0,69	5,50	6,00	0,57	5,50	4,72	0,45	5,50	3,37	0,32
6,75	7,71	0,73	6,75	6,72	0,64	6,75	5,37	0,51	6,75	3,81	0,36
8,00	7,87	0,75	8,00	6,48	0,62	8,00	5,67	0,54	8,00	4,13	0,39
10,50	8,20	0,78	10,50	7,91	0,75	10,50	6,27	0,59	10,50	4,79	0,45
13,00	8,90	0,84	13,00	9,04	0,86	13,00	7,30	0,69	13,00	5,76	0,55
15,50	9,39	0,89	15,50	9,19	0,87	15,50	7,97	0,76	15,50	6,99	0,66
18,00	9,63	0,91	18,00	9,54	0,90	18,00	8,87	0,84	18,00	7,64	0,72
20,50	9,75	0,93	20,50	9,82	0,93	20,50	9,26	0,88	20,50	8,76	0,83
23,00	9,74	0,92	23,00	9,88	0,94	23,00	9,89	0,94	23,00	9,20	0,87
25,50	10,01	0,95	25,50	9,92	0,94	25,50	10,15	0,96	25,50	9,65	0,92

ADENSAMENTO 02											
P1			P2			P3			P4		
h (pav)	V	U/Uref	h (pav)	V	U/Uref	h (pav)	V	U/Uref	h (pav)	V	U/Uref
0,50	4,61	0,44	0,50	4,19	0,40	0,50	3,11	0,30	0,50	2,70	0,26
1,75	5,46	0,52	1,75	4,69	0,45	1,75	3,44	0,33	1,75	3,37	0,32
4,00	7,16	0,68	4,00	6,05	0,57	4,25	4,74	0,45	4,25	3,94	0,37
5,50	7,86	0,75	5,50	6,92	0,66	5,75	5,69	0,54	5,75	4,49	0,43
6,50	8,24	0,78	6,50	7,28	0,69	6,75	6,22	0,59	6,75	4,60	0,44
8,00	8,52	0,81	8,00	7,76	0,74	7,75	6,89	0,65	7,75	4,87	0,46
10,50	8,97	0,85	10,50	8,33	0,79	10,25	7,90	0,75	10,25	5,30	0,50
13,00	9,12	0,86	13,00	8,57	0,81	12,75	8,58	0,81	12,75	5,91	0,56
15,50	9,41	0,89	15,50	9,27	0,88	15,25	8,99	0,85	15,25	7,02	0,67
18,00	9,57	0,91	18,00	9,25	0,88	15,75	9,41	0,89	15,75	7,76	0,74
20,50	9,71	0,92	20,50	9,71	0,92	20,25	9,93	0,94	20,25	8,61	0,82
23,00	9,96	0,94	23,00	9,84	0,93	22,75	10,17	0,96	22,75	9,32	0,88
25,50	10,05	0,95	25,50	10,06	0,95	25,25	10,35	0,98	25,25	9,76	0,93

ADENSAMENTO 03											
P1 10,54			P2 10,54			P3 10,54			P4 10,54		
h (pav)	V	U/Uref	h (pav)	V	U/Uref	h (pav)	V	U/Uref	h (pav)	V	U/Uref
0,50	2,88	0,27	0,50	3,65	0,35	0,50	3,36	0,32	0,50	2,97	0,28
1,75	4,20	0,40	1,75	4,38	0,42	1,75	3,54	0,34	1,75	3,22	0,31
4,00	5,91	0,56	4,00	5,67	0,54	4,00	4,46	0,42	4,00	3,85	0,37
5,50	6,36	0,60	5,50	6,09	0,58	5,50	4,92	0,47	5,50	4,25	0,40
6,50	6,48	0,61	6,50	6,41	0,61	6,50	5,45	0,52	6,50	4,68	0,44
8,00	6,82	0,65	8,00	6,91	0,65	8,00	5,83	0,55	8,00	4,89	0,46
10,50	7,34	0,70	10,50	7,61	0,72	10,50	6,09	0,58	10,50	5,34	0,51
13,00	8,22	0,78	13,00	7,85	0,74	13,00	6,68	0,63	13,00	5,68	0,54
15,50	8,87	0,84	15,50	7,99	0,76	15,50	6,83	0,65	15,50	6,32	0,60
18,00	9,55	0,91	18,00	8,56	0,81	18,00	7,57	0,72	18,00	6,79	0,64
20,50	9,64	0,91	20,50	9,14	0,87	20,50	8,02	0,76	20,50	7,39	0,70
23,00	9,83	0,93	23,00	9,65	0,91	23,00	8,68	0,82	23,00	8,29	0,79
25,50	10,21	0,97	25,50	10,04	0,95	25,50	9,25	0,88	25,50	8,72	0,83

ADENSAMENTO 04											
P1 10,54			P2 10,54			P3 10,54			P4 10,54		
h (pav)	V	U/Uref	h (pav)	V	U/Uref	h (pav)	V	U/Uref	h (pav)	V	U/Uref
0,75	4,75	0,45	0,75	0,00	0,00	0,75	3,04	0,29	0,50	0,96	0,09
1,75	4,92	0,47	1,75	0,00	0,00	1,75	2,63	0,25	1,75	0,00	0,00
4,25	5,05	0,48	4,25	0,00	0,00	4,25	2,23	0,21	4,00	0,90	0,09
5,75	4,65	0,44	5,75	0,13	0,01	5,75	2,26	0,21	5,50	1,46	0,14
6,75	4,65	0,44	6,75	1,73	0,16	6,75	2,46	0,23	6,50	1,73	0,16
8,25	4,58	0,43	8,25	2,48	0,23	8,25	2,61	0,25	8,00	2,16	0,20
10,75	4,65	0,44	10,75	3,38	0,32	10,75	3,16	0,30	10,50	3,42	0,32
13,25	5,07	0,48	13,25	4,23	0,40	13,25	3,68	0,35	13,00	3,92	0,37
15,75	5,31	0,50	15,75	5,08	0,48	15,75	4,49	0,43	15,50	4,59	0,44
18,25	5,92	0,56	18,25	5,56	0,53	18,25	5,24	0,50	18,00	5,35	0,51
20,75	6,78	0,64	20,75	6,29	0,60	20,75	6,03	0,57	20,50	6,08	0,58
23,25	8,33	0,79	23,25	6,99	0,66	23,25	6,71	0,64	23,00	6,69	0,63
25,75	9,60	0,91	25,75	7,90	0,75	25,75	7,21	0,68	25,50	7,01	0,66

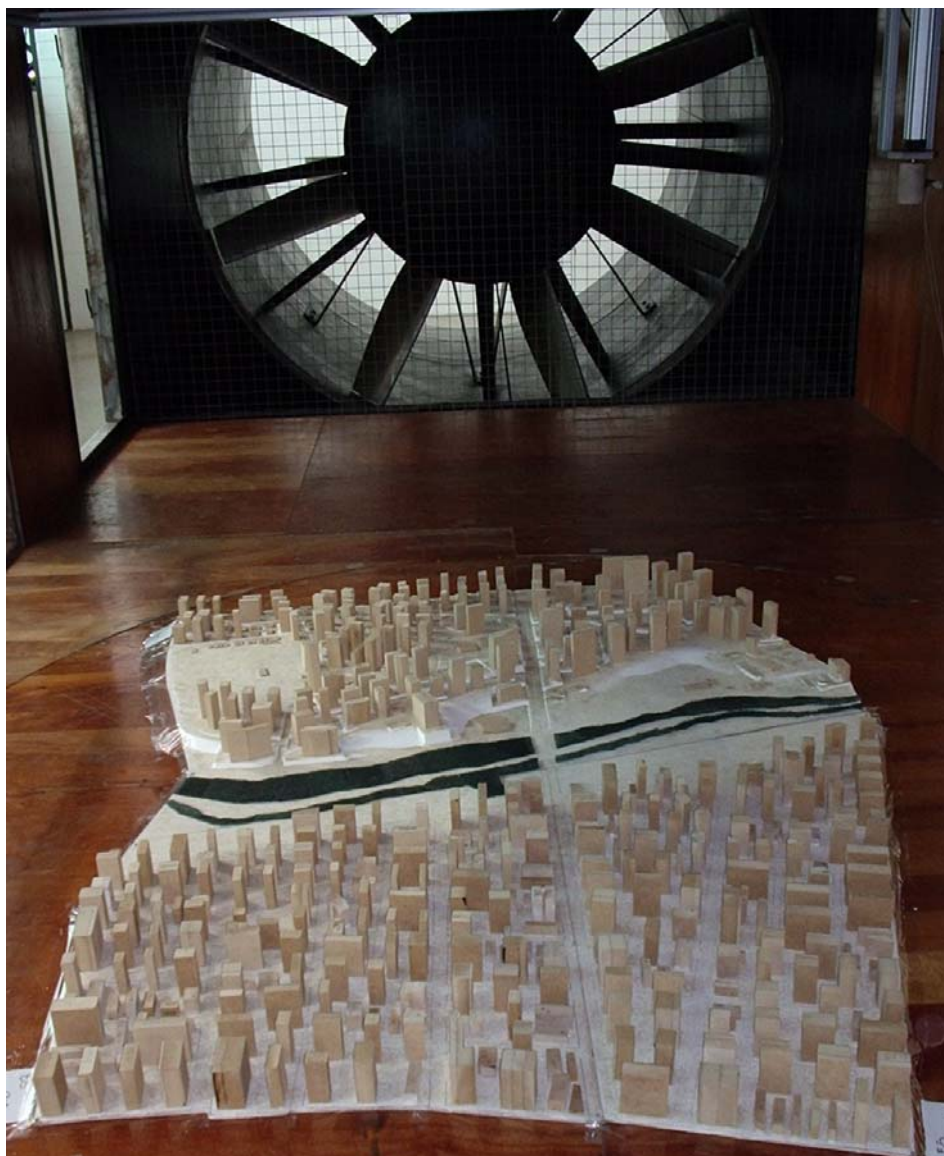
ANEXO D – REGISTROS FOTOGRÁFICOS



TÚNEL AERODINÂMICO DO IPT/USP



VISTA DA MAQUETE NA CÂMARA DE ENSAIOS DO TÚNEL



VISTA DA MAQUETE NA CÂMARA DE ENSAIOS DO TÚNEL