

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA**

**LAYANE ALVES NUNES**

**PISO ECOLÓGICO EM PAVIMENTOS URBANOS:**  
**PROPOSTA DE PROCESSO E PRODUTO**

**MARINGÁ**

**2009**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**LAYANE ALVES NUNES**

**PISO ECOLÓGICO EM PAVIMENTOS URBANOS:  
PROPOSTA E PROCESSO DE PRODUTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Estadual de Maringá como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Fernando Soares.

**MARINGÁ**

**2009**

**LAYANE ALVES NUNES**

**PISO ECOLÓGICO EM PAVIMENTOS URBANOS:  
PROPOSTA DE PROCESSO E PRODUTO**

Esta dissertação foi julgada e aprovada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana no programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana da Universidade Estadual de Maringá.

Prof. Dr. Evaristo Atêncio Paredes, Coordenador do Programa.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Paulo Fernando Soares (Orientador) - UEM

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Carolina Lotufo Bueno Bartholomei

---

Prof. Dr. Romel Dias Vanderlei

Maringá, Fevereiro de 2009.

“Todo conhecimento humano começa com  
intuições, desta passa a conceitos e termina  
com idéias.”  
IMMANUEL KANT

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, pela sabedoria que transmite a todos os estudantes.

Aos meus pais, Osvaldo e Salete, pelo exemplo de força e coragem.

A cidade e a população urbana, para que cada dia mais tenhamos a consciência de que nossos atos devem contribuir para a melhoria do meio em que vivemos.

## AGRADECIMENTOS

*A Deus, pela vida, por sempre me abrir “janelas”, e ser meu guia para chegar ao fim de mais esse trajeto, rumo ao crescimento profissional e pessoal.*

*Aos meus pais, Osvaldo e Salete, pelo incentivo, pelas preocupações compartilhadas e por me mostrarem que eu poderia caminhar muito mais do que eu mesma acreditava.*

*Ao meu irmão, Wallace, pelo pouco tempo de convívio e pouca conversa ao longo desse tempo, pois quando nos víamos eu quase sempre estava estudando.*

*Ao Paulo Roberto, pelo encorajamento desde o início desta pesquisa, pelas trocas de informações, companheirismo, compreensão e pelas horas roubadas do nosso convívio.*

*A toda minha família pelo tempo tomado do convívio com vocês.*

*Ao Prof. Dr. Paulo Fernando Soares, pelas oportunidades que sempre me deste para aprofundamento do conhecimento desde a graduação, e tenho certeza que sempre mais a sua porta estará aberta a todos.*

*Muito Obrigada, pelo apoio, tranquilidade, conversas, compartilhamento de conhecimento e principalmente pela amizade.*

*Ao Prof. Dr. Romel Dias Vanderlei pelo auxílio fundamental para a pesquisa e pela disponibilidade nos momentos que precisei.*

*Aos amigos, Fernanda Marostica, Gustavo Masson e Igor Botelho que sempre estiveram à disposição para contribuir com este estudo.*

*A Diana Carla, pelo companheirismo ao longo do curso, pelo apoio, pelo ombro, pela calma e por compartilhar os momentos de*

*desespero. Ahhhh!!! E pela sincera amizade adquirida ao longo destes 2 anos.*

*Ao Prof. Mauro Araujo que nas breves conversas na sala dos professores me proporcionou idéias e soluções para o desenvolvimento da proposta. Além da abertura de sua biblioteca particular como fonte de consulta para enriquecer este trabalho.*

*Ao Jean Marcelo, pelo imenso apoio e compartilhamento de seu conhecimento, experiência e tempo fundamentais para o nascimento do piso ecológico.*

*Ao Jeva, por sempre estar disponível para me auxiliar no laboratório.*

*A Prof. Dr. Carolina Bartholomei, pela suas contribuições ao trabalho nos momentos das bancas.*

*Ao Prof. José Wilson pelas conversas, troca de experiência, por abrir o seu laboratório e torná-lo disponível sempre que necessário.*

*Ao Prof. Dr. Antônio Belincanta pela disponibilidade e paciência para o auxílio com o teste de permeabilidade do piso.*

*Ao Prof. Adley Rubira pelo atendimento no teste com os sulfatos em seu laboratório.*

*Ao João Cardoso, empresa Lajes Trellis, por gentilmente ceder o material que possibilitou os estudos e a fabricação do piso ecológico.*

*Ao pessoal da FAC – Fábrica de Artefatos de Concreto da UEM, pela disponibilidade e auxílio na fabricação das peças.*

*Ao Douglas, que sempre sorridente atende a todos que os acadêmicos, inclusive eu, que o procuram e com paciência auxilia a todos nós mestrandos. Obrigada por todos os auxílios com as papeladas necessários para o caminhar deste trabalho.*

*A Aline Hansen pelas aulas de hidrologia.*

*A Aline Lisot pela disponibilidade e acesso quando necessitei de sua ajuda.*

*A todos os professores do Programa de Pós-Graduação,  
“Stricto Sensu”, em Engenharia Urbana da Universidade  
Estadual de Maringá.*

*Ao Antonio Miranda, Cássio Tavares, Ivana Cabral, Artur Ortega e  
Norma Jung amigos de ombro que me escutaram a desabafar sobre o  
cansaço, pelo incentivo e pelo interesse sobre o tema.*

*A Elaine Merenda pela disponibilidade e ajuda para elaboração do  
custo do piso ecológico.*

*A Ticianne Rubira pela ajuda com os textos em inglês.*

*Aos companheiros de sala que sempre me ouviam falar do piso  
ecológico e que de alguma forma contribuíram para o  
desenvolvimento da pesquisa.*

*A todos que passaram informações para o enriquecimento desta  
pesquisa, que desde a concepção de sua idéia é um estudo  
interdisciplinar e mostra a importância de cada contribuição no seu  
início, meio e fim.*

*A você, que irá ler este trabalho e passará a conhecer a pesquisa.*

*Sempre digo aos que me perguntam sobre pesquisa, mestrado, etc.  
“procurem estudar algo que ainda não conheça, que tenham a  
curiosidade e a vontade de aprender, para sempre somar  
conhecimento”.*

*É com imenso e sincero carinho que agradeço a todos vocês que  
acompanharam o trabalho e contribuíram com ele de alguma forma  
até este momento.*

*Muito Obrigada!*

## RESUMO

Nas cidades a pavimentação surgiu para facilitar os percursos, transformando-os em caminhos rápidos durante as estações do ano. Os revestimentos urbanos, em geral, são elaborados conforme conceitos tecnológicos, estéticos, econômicos e, nos dias atuais, ecológicos. No contexto atual, preocupa-se com a impermeabilidade do solo na malha urbana, com o material do pavimento, sem esquecer-se dos indicadores de conforto ambiental inerentes a tais revestimentos. Esta pesquisa se propôs a desenvolver uma tipologia de pavimentação urbana autodrenante, voltada ao trânsito de pedestres, que possa ser aplicada em passeios públicos, projetos paisagísticos, áreas residenciais, entre outros. Tendo em sua composição a incorporação de material reciclado oriundo dos resíduos de solas de sapatos picados, etileno-acetato de vinila (E.V.A.). Estudos sobre desenvolvimento de produtos buscam agregar valores estéticos, funcionais e conceituais, com a intenção de destacar o produto entre os similares encontrados no mercado. Salienta-se a preocupação com suas características, paralelamente ao reaproveitamento ou a reutilização de material reciclado, aqui utilizado na porcentagem de 10% com relação ao material convencional utilizado. As propriedades físicas de resistência à compressão e flexão se mostraram satisfatórias quanto às normas e comparação com pisos similares. O piso proposto atingiu o objetivo da permeabilidade, demonstrando alta capacidade de drenagem da água. Seu formato e dimensões foram estudados conforme a modulação das calçadas e com preocupações quanto acessibilidade urbana. A estimativa de custo não se mostrou discrepante diante dos valores encontrados no mercado, e as características deste produto certamente o destaca no mercado diante da relação custo x benefício. Contudo, apesar de existirem estudos sobre calçadas ecológicas, a necessidade de métodos para avaliação de decisões que contribuam positivamente na consecução do desenvolvimento sustentável é premente. Dentro desta problemática, elaborou-se esta proposta, com o objetivo de criar um protótipo para o fomento de estudos nessa área.

**Palavras-Chave:** pavimentação urbana; piso autodrenante; conforto termo-acústico; sustentabilidade; meio urbano.

## ABSTRACT

Paving has been used in the cities in order to make the routes easier to use during the different seasons of the year. In general, pavements are elaborated according to technological, aesthetic and economical concepts. Nowadays, the ecological concept is used as well. In the current context, the impermeability of the soil in the urban environment, the paving material and the environmental comfort indicators that are inherent to such coverings are very important. The objective of this work was to develop a type of urban paving drainage to be used in sidewalks, focused on pedestrians, landscape projects and residential areas, among others. It is composed of recycled material made of residues of pricked shoe soles (E.V.A.). Studies on the development of products tend to join aesthetic, functional and conceptual values in order to make the product stand out among the similar ones found on the market. It is important to point out the concern with their characteristics, as well as the reuse or reutilization of the recycled material, which was utilized in an amount of 10% in comparison to the conventional material that was used. The physical properties of resistance to compression and flexion were satisfactory when concerning the rules and also in comparison to similar pavements. The proposed pavement achieved the permeability objective, therefore demonstrating a high capacity of water drainage. Its shape and dimensions were studied according to the modulation of the sidewalks and concerning urban accessibility issues. The cost estimation did not diverge from the values found in the market, and the product characteristics make it stand out due to the cost x benefit relation. However, even though there are studies on ecological sidewalks, a pressing issue concerns the methods to evaluate decisions that may contribute, in a positive way, to a sustainable development. All of these aspects were considered in this project in order to create a prototype of urban pavement and also enable discussions on this subject.

**Keywords:** urban paving; paving drainage; term-acoustic comfort; sustainable development; urban environment.

## SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS.....</b>	<b>V</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>VIII</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>X</b>
<b>SUMÁRIO .....</b>	<b>XII</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>XVI</b>
<b>LISTA DE GRÁFICOS.....</b>	<b>XXV</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>XXVI</b>
<b><u>1 INTRODUÇÃO.....</u></b>	<b><u>1</u></b>
<b>1.1 PROPOSTA DA PESQUISA .....</b>	<b>2</b>
<b>1.2 OBJETIVOS .....</b>	<b>3</b>
1.2.1 OBJETIVO GERAL .....	3
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
<b>1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....</b>	<b>4</b>
<b><u>2 REVISÃO TEÓRICA .....</u></b>	<b><u>5</u></b>
<b>2.1 BREVE HISTÓRICO DA PAVIMENTAÇÃO.....</b>	<b>5</b>
2.1.1 INÍCIO DO PISO INTERTRAVADO DE CONCRETO.....	7
<b>2.2 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL .....</b>	<b>8</b>
2.2.1 O HOMEM E A NATUREZA.....	8
2.2.2 SURGIMENTO DO TERMO “DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL” .....	10
2.2.3 CONCEITO E CONCEPÇÃO DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL .....	11
<b>2.3 ACESSIBILIDADE .....</b>	<b>14</b>
2.3.1 PESSOAS PORTADORAS DE DEFICIÊNCIA OU MOBILIDADE REDUZIDA .....	14
2.3.2 ACESSIBILIDADE COMO INCLUSÃO SOCIAL .....	16

2.3.3	CONCEITOS DE ACESSIBILIDADE.....	17
2.3.4	DESENHO UNIVERSAL .....	18
2.3.5	LEGISLAÇÕES E NORMATIVAS .....	21
2.3.6	PRINCÍPIOS BÁSICOS PARA UMA ARQUITETURA INCLUSIVA.....	21
<b>2.4</b>	<b>CONFORTO TÉRMICO E LUMINOSO.....</b>	<b>23</b>
2.4.1	CONFORTO TÉRMICO: PAVIMENTAÇÃO E CLIMA URBANO .....	23
2.4.2	CONFORTO LUMINOSO.....	34
<b>2.5</b>	<b>CONFORTO ACÚSTICO URBANO .....</b>	<b>37</b>
2.5.1	SOM VERSUS RUÍDO.....	38
2.5.2	MALES À SAÚDE HUMANA DECORRENTES DO RUÍDO.....	40
2.5.3	FATORES AMBIENTAIS E O SOM.....	41
2.5.4	O SOM DA CIDADE .....	43
<b>2.6</b>	<b>AS RUAS E A INFRA-ESTRUTURA URBANA.....</b>	<b>47</b>
2.6.1	REDE VIÁRIA.....	48
2.6.1.1	Os Pavimentos e suas características.....	49
2.6.1.2	Tipos de Pavimentos.....	51
2.6.1.2.1	Pavimentos com Blocos de Concreto ou Paralelepípedos.....	52
2.6.1.2.2	Pavimento de Pedra colocada à mão.....	55
2.6.1.2.3	Pavimento de Junta Aberta .....	58
2.6.1.3	Custo da pavimentação.....	58
2.6.2	DRENAGEM PLUVIAL.....	60
2.6.2.1	Sistema convencional de drenagem urbana.....	62
2.6.2.1.1	Infra-estrutura da micro-drenagem urbana .....	63
2.6.2.2	Novos conceitos de drenagem pluvial.....	67
2.6.2.2.1	Absorção da água pelo solo .....	68
2.6.2.2.2	Pavimentos permeáveis ou porosos .....	69
2.6.2.2.3	Bacias de Detenção.....	71
<b>3</b>	<b><u>DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO.....</u></b>	<b><u>75</u></b>
3.1	CONCEPÇÃO DE PRODUTO E A IDÉIA DO PISO ECOLÓGICO .....	75

3.1.1	A IDÉIA DO PISO ECOLÓGICO .....	75
<b>3.2</b>	<b>O PROBLEMA E OS CAMINHOS PARA SUA SOLUÇÃO .....</b>	<b>78</b>
<b>3.3</b>	<b>BASES CONCEITUAIS .....</b>	<b>81</b>
3.3.1	APARÊNCIA ESTÉTICO-FORMAL .....	81
3.3.2	PRINCÍPIOS DO ESTILO .....	82
3.3.2.1	Percepção visual de produtos .....	83
3.3.3	REGRAS GERAIS DE PERCEPÇÃO .....	85
<b>3.4</b>	<b>FORMA E DIMENSÃO DO PISO ECOLÓGICO.....</b>	<b>88</b>
3.4.1	SEÇÃO ÁUREA .....	90
3.4.2	ESTUDOS DE DIMENSÕES DAS CALÇADAS .....	94
3.4.3	DIMENSÕES DO PISO ECOLÓGICO .....	98
<b>3.5</b>	<b>ESTUDO DE VIABILIDADE DO PRODUTO PROPOSTO: PISO ECOLÓGICO.....</b>	<b>101</b>
3.5.1	PESQUISA DE MERCADO (P.M.).....	103
<b>3.6</b>	<b>DESENVOLVIMENTO DO MODELO BASE DO PISO ECOLÓGICO .....</b>	<b>112</b>
3.6.1	DEFINIÇÃO DO MATERIAL RECICLADO A SER UTILIZADO COMO AGREGADO....	112
3.6.2	MATERIAIS PARA A COMPOSIÇÃO DO PISO ECOLÓGICO .....	117
3.6.3	DEFINIÇÃO DO TRAÇO .....	118
3.6.3.1	Projeto do traço: Primeiros estudos .....	118
3.6.3.2	Projeto do traço: Traço definitivo.....	128
3.6.4	PRODUÇÃO DO PISO ECOLÓGICO .....	137
<b><u>4</u></b>	<b><u>MÉTODOS DE ENSAIOS E MATERIAIS .....</u></b>	<b><u>142</u></b>
<b>4.1</b>	<b>PROPRIEDADES AVALIADAS – MÉTODOS DE ENSAIOS .....</b>	<b>142</b>
4.1.1	MÉTODO PARA REALIZAÇÃO DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO .....	142
4.1.1.1	Procedimento para os resultados do teste de resistência à compressão.	143
4.1.2	MÉTODO DE ENSAIO PARA DETERMINAÇÃO DA CARGA DE RUPTURA À FLEXÃO ....	144
	.....	144
4.1.2.1	Procedimento para os resultados do teste de resistência à flexão.....	145

4.1.3	MÉTODO DE ENSAIO PARA DETERMINAÇÃO DA PERMEABILIDADE DO PISO ECOLÓGICO .....	147
<b>4.2</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS NA FABRICAÇÃO DO PISO ECOLÓGICO .....</b>	<b>150</b>
4.2.1	CIMENTO .....	150
4.2.2	ÁGUA .....	152
4.2.3	AGREGADOS .....	152
4.2.3.1	Agregado miúdo – Areia .....	152
4.2.3.1	Agregado graúdo - Pedrisco de Basalto .....	152
4.2.3.2	Agregado reciclado – Resíduo de etileno-acetato de vinila (E.V.A.)....	153
<b>5</b>	<b><u>ENSAIOS, RESULTADOS, ANÁLISES E DISCUSSÕES .....</u></b>	<b><u>155</u></b>
5.1	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO PISO ECOLÓGICO .....	155
5.2	RESISTÊNCIA À FLEXÃO DO PISO ECOLÓGICO.....	158
5.3	PERMEABILIDADE DO PISO ECOLÓGICO.....	161
5.4	ESTIMATIVA DO CUSTO DE PRODUÇÃO DO PISO ECOLÓGICO .....	167
5.5	PROPOSTA DE ÍNDICE PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO PISO ECOLÓGICO (IAD) .....	169
<b>6</b>	<b><u>CONCLUSÃO .....</u></b>	<b><u>172</u></b>
6.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	174
<b>7</b>	<b><u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</u></b>	<b><u>176</u></b>
	<b><u>ANEXOS A – MÉTODO PARA REALIZAÇÃO DO TESTE DE TEMPERATURA DO PISO ECOLÓGICO .....</u></b>	<b><u>185</u></b>
	<b><u>ANEXO B – MÉTODO PARA REALIZAÇÃO DO TESTE DE ABSORÇÃO ACÚSTICA .....</u></b>	<b><u>189</u></b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 01: RELAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS QUE SE DESEJA ATINGIR COM O PRODUTO</b>	<b>3</b>
<b>FIGURA 02: IMAGEM VIA ÁPIA .....</b>	<b>5</b>
<b>FIGURA 03: ILUSTRAÇÃO DAS ETAPAS DE CONSTRUÇÃO NAS ESTRADAS ROMANAS .....</b>	<b>6</b>
<b>FIGURA 04: PERFIL DA PAVIMENTAÇÃO ROMANA E ILUSTRAÇÃO DE RUA NO INTERIOR DA CIDADE.....</b>	<b>7</b>
<b>FIGURA 05: ILUSTRAÇÃO DE EXEMPLOS DE PESSOAS COM DEFICIÊNCIA OU MOBILIDADE REDUZIDA.....</b>	<b>15</b>
<b>FIGURA 06: “O HOMEM DE VITRÚVIO”, DESENHO DE LEONARDO DA VINCI, C. 1490.....</b>	<b>19</b>
<b>FIGURA 07: SISTEMA MODULOR CRIADOR POR LE COURBUSIER, 1948.....</b>	<b>19</b>
<b>FIGURA 8: TRATAMENTO DE DESNÍVEIS.....</b>	<b>22</b>
<b>FIGURA 9: DIMENSÃO DE GRELHA.....</b>	<b>22</b>
<b>FIGURA 10: DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.....</b>	<b>24</b>
<b>FIGURA 11: COMPARAÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE TRANSFORMADA EM CALOR, CONFORME O REVESTIMENTO DO SOLO. ....</b>	<b>25</b>
<b>FIGURA 12: TROCAS DE CALOR NAS ÁREAS URBANAS E RURAL .....</b>	<b>25</b>
<b>FIGURA 13: CICLO HIDROLÓGICO TERRESTRE.....</b>	<b>26</b>
<b>FIGURA 14: DOMO URBANO DE POEIRA.....</b>	<b>28</b>
<b>FIGURA 15: TROCA DE CALOR.....</b>	<b>29</b>
<b>FIGURA 16: ALTURA DE ILHAS DE CALOR.....</b>	<b>30</b>
<b>FIGURA 17: CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS DOS MATERIAIS DA PAVIMENTAÇÃO .....</b>	<b>32</b>
<b>FIGURA 18: CALÇAMENTO ENTREMEADO DE GRAMA .....</b>	<b>32</b>
<b>FIGURA 19: FORMAS DE CALÇAMENTO.....</b>	<b>33</b>
<b>FIGURA 20: O ENTORNO, A BASE E A SUPERFÍCIE DE FRONTEIRA .....</b>	<b>34</b>

<b>FIGURA 21: UM CIDADÃO CONTENTE OUVINDO MÚSICA E UM MOSQUITO, RESPECTIVAMENTE.....</b>	<b>38</b>
<b>FIGURA 22: FILTRO VEGETAL DO RUÍDO. ....</b>	<b>43</b>
<b>FIGURA 23: EFEITOS TOPOGRÁFICOS PARA ATENUAÇÃO DO RUÍDO.....</b>	<b>43</b>
<b>FIGURA 24: REAÇÃO COMUNITÁRIA EM FUNÇÃO DO <math>L_{DN}</math>.....</b>	<b>44</b>
<b>FIGURA 25: REFLEXÃO DOS SONS EM SUPERFÍCIES VERTICAIS E HORIZONTAIS .....</b>	<b>45</b>
<b>FIGURA 26: MECANISMOS SIGNIFICATIVOS DA ATENUAÇÃO SONORA AO AR LIVRE .....</b>	<b>46</b>
<b>FIGURA 27: PERFIL DE UMA VIA URBANA.....</b>	<b>49</b>
<b>FIGURA 28: SEÇÃO TRANSVERSAL DE UM PAVIMENTO SEMIFLEXÍVEL PARALELEPIPEDAL, CONFORME AS CARGAS E A RESISTÊNCIA DA BASE PODE SE ELIMINAR AS CAMADAS INTERMEDIÁRIAS.....</b>	<b>52</b>
<b>FIGURA 29: TIPOLOGIAS ALTERNATIVAS DE BLOCOS ARTICULADOS DE CONCRETO .....</b>	<b>53</b>
<b>FIGURA 30: ASSENTAMENTOS TÍPICOS: A) ESPINHA-DE-PEIXE OU ÂNGULO RETO; B) FILEIRA OU .....</b>	<b>54</b>
<b>FIGURA 31: PAVIMENTO DE PARALELEPÍPEDO OU BLOCOS SEM ARTICULAÇÃO COLOCADOS EM ARCO, RECOMENDADO PARA VIAS EM ACLIVE.....</b>	<b>55</b>
<b>FIGURA 32: PAVIMENTO DE PARALELEPÍPEDO OU BLOCOS SEM ARTICULAÇÃO COLOCADOS A 45° NO SENTIDO DA VIA. ....</b>	<b>55</b>
<b>FIGURA 33: IMAGENS DE RUAS COM PEDRAS COLOCADAS À MÃO EM CIDADES MEDIEVAIS DE PORTUGAL E FRANÇA, RESPECTIVAMENTE.....</b>	<b>56</b>
<b>FIGURA 34: EXEMPLO DE PAVIMENTOS COLOCADOS À MÃO COM DIFERENTES TEXTURAS E INSERÇÃO DE ELEMENTOS VARIADOS.....</b>	<b>56</b>
<b>FIGURA 35: ILUSTRAÇÕES DE COLOCAÇÃO DE PAVIMENTOS.....</b>	<b>57</b>
<b>FIGURA 36: ESCADARIA COM PLACAS DE PEDRAS IRREGULARES COLOCADA À MÃO COM JUNTA ABERTA E PAVIMENTAÇÃO COM BLOCOS DE CONCRETO COM GRAMA E SUA MANUTENÇÃO, RESPECTIVAMENTE.....</b>	<b>58</b>
<b>FIGURA 37: GRÁFICOS DE COMPARAÇÃO DE CUSTO PARA PAVIMENTO FLEXÍVEL E PAVIMENTO RÍGIDO POR NÚMERO DE VEÍCULOS DIA, RESPECTIVAMENTE.....</b>	<b>59</b>

<b>FIGURA 38: CUSTO (M<sup>2</sup>) DO PAVIMENTO FLEXÍVEL EM FUNÇÃO DO NÚMERO DE VEÍCULOS DIA .....</b>	<b>60</b>
<b>FIGURA 39: CRUZAMENTO DE PEDESTRE COM TROCA DE PAVIMENTOS POR BLOCOS E COR.....</b>	<b>60</b>
<b>FIGURA 40: ESCADARIA NA CIDADE MEDIEVAL DE LE PUIG, FRANÇA. ....</b>	<b>61</b>
<b>FIGURA 41: ELEMENTOS BÁSICOS DOS SISTEMAS DE DRENAGEM PLUVIAL CONVENCIONAL E ESQUEMA DE DRENAGEM URBANA. ....</b>	<b>63</b>
<b>FIGURA 42: CONDICIONANTES DAS DIMENSÕES DAS GUIAS NAS VIAS URBANAS DE ESTACIONAMENTO PARALELO.....</b>	<b>64</b>
<b>FIGURA 43: CONDICIONANTES DAS DIMENSÕES DAS SARJETAS NAS VIAS URBANAS DE ESTACIONAMENTO PARALELO.....</b>	<b>64</b>
<b>FIGURA 44: ESQUEMA DE ESCOAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS EM CRUZAMENTOS .....</b>	<b>65</b>
<b>FIGURA 45: ILUSTRAÇÃO DE UMA BOCA-DE-LOBO E ILUSTRAÇÃO DO CAMINHO DAS ÁGUAS PELA BOCA-DE-LOBO, RESPECTIVAMENTE.....</b>	<b>65</b>
<b>FIGURA 46: ILUSTRAÇÕES DOS SISTEMAS DE CAPTAÇÃO: VERTICAL, LATERAL E COMBINADO, RESPECTIVAMENTE.....</b>	<b>66</b>
<b>FIGURA 47: CORTE ESQUEMA DE UM POÇO DE VISITA .....</b>	<b>67</b>
<b>FIGURA 48: EXEMPLOS DE BLOCOS DE CONCRETO COM ESPAÇO PARA POSSIBILITAR UMA PAVIMENTAÇÃO PERMEÁVEL.....</b>	<b>70</b>
<b>FIGURA 49: VISTA DE UMA RUA DO BAIRRO DE PALERMO, EM BUENOS AIRES (ARGENTINA), COM FAIXA DE ESTACIONAMENTO EM PARALELEPÍPEDO. ....</b>	<b>71</b>
<b>FIGURA 50: BACIAS DE RETENÇÃO APRESENTADAS PELOS TÉCNICOS FRANCESES, EM 1983, FRANÇA. ....</b>	<b>72</b>
<b>FIGURA 51: ILUSTRAÇÃO ESQUEMÁTICA DOS CONCEITOS DE RESERVAÇÃO VERSUS OS DE CANALIZAÇÃO .....</b>	<b>73</b>
<b>FIGURA 52: EXEMPLO DE BACIA DE ACUMULAÇÃO SECA.....</b>	<b>73</b>
<b>FIGURA 53: QUADRO RELAÇÃO USUÁRIO-PRODUTO .....</b>	<b>77</b>
<b>FIGURA 54: QUADRO RELAÇÃO USUÁRIO-PRODUTO, VOLTADO AO PISO ECOLÓGICO .....</b>	<b>77</b>

<b>FIGURA 55: FLUXOGRAMA PARA O ENTENDIMENTO DO PROBLEMA – DESENVOLVIMENTO DO PISO .....</b>	<b>80</b>
<b>FIGURA 56: ESPREMEDOR DE LIMÃO, EM ALUMÍNIO, DO DESIGNER PHILIPPE STARCK ..</b>	<b>81</b>
<b>FIGURA 57: PRÉ-ATENÇÃO .....</b>	<b>83</b>
<b>FIGURA 58: CACHORRO DÁLMATA NAS MANCHAS E UM TRIÂNGULO INEXISTENTE, RESPECTIVAMENTE .....</b>	<b>84</b>
<b>FIGURA 59: A HARMONIA VISUAL PODE SER CONSTRUÍDA COM A REPETIÇÃO DE FORMAS GEOMÉTRICAS SEMELHANTES .....</b>	<b>87</b>
<b>FIGURA 60: A TENDÊNCIA À SIMPLICIDADE NO DESENHO DE MÁQUINA DE ESCREVER ....</b>	<b>87</b>
<b>FIGURA 61: EVOLUÇÃO DAS PROPORÇÕES FACIAIS DO URSINHO TEDDY DESDE 1900 .....</b>	<b>89</b>
<b>FIGURA 62: PREFERÊNCIA DAS PESSOAS PELA RAZÃO ÁUREA .....</b>	<b>89</b>
<b>FIGURA 63: HÁ UMA RAZÃO CONSTANTE ENTRE OS TERMOS DA SÉRIE FIBONACCI .....</b>	<b>89</b>
<b>FIGURA 64: O PARTENON, ATENAS, 447-432 A.C.; MUSEU MUNDIAL (PROJETO), GENEVRA, 1929, LE CORBUSIER. ....</b>	<b>90</b>
<b>FIGURA 65: CONSTRUÇÕES GEOMÉTRICAS DA SECÇÃO ÁUREA.....</b>	<b>91</b>
<b>FIGURA 66: O CENTRO DE UMA MARGARIDA E SEUS DIAGRAMAS. ESPIRAIS GERADORAS QUE SE MOVEM EM DIREÇÕES OPOSTAS SÃO LOGARÍTMICAS (CENTRO) E EQÜIANGULARES (DIREITA) .....</b>	<b>92</b>
<b>FIGURA 67: APROXIMAÇÃO DE UM RETÂNGULO ÁUREO (5:8) .....</b>	<b>93</b>
<b>FIGURA 68: PROGRESSÕES BASEADAS NA SECÇÃO ÁUREA .....</b>	<b>93</b>
<b>FIGURA 69: TRANSPORTE URBANO E METROPOLITANO DE PESSOAS NO BRASIL .....</b>	<b>94</b>
<b>FIGURA 70: EXEMPLO DE COLOCAÇÃO DE PISOS TÁTEIS, DE ALERTA E DIRECIONAL.....</b>	<b>95</b>
<b>FIGURA 71: DIVISÃO DAS CALÇADAS EM FAIXAS .....</b>	<b>96</b>
<b>FIGURA 72: ILUSTRAÇÃO DA FAIXA LIVRE.....</b>	<b>97</b>
<b>FIGURA 73: PASSEIO COM FAIXA LIVRE CONTÍNUA E ORDENAÇÃO DE MOBILIÁRIOS URBANOS.....</b>	<b>97</b>
<b>FIGURA 74: MODELO 01 DE PASSEIO, MARINGÁ-PR .....</b>	<b>97</b>
<b>FIGURA 75: MODELO 02 DE PASSEIO, MARINGÁ-PR .....</b>	<b>98</b>

<b>FIGURA 76: MODELO 03 DE PASSEIO, MARINGÁ-PR .....</b>	<b>98</b>
<b>FIGURA 77: RETÂNGULO DIVIDIDO NA SECÇÃO ÁUREA.....</b>	<b>99</b>
<b>FIGURA 78: CÁLCULO DA DIMENSÃO DO PISO ATRAVÉS DA SECÇÃO ÁUREA .....</b>	<b>99</b>
<b>FIGURA 79: EXEMPLO DE MODULAÇÃO CONFORME O MODELO 1 E 2 DA CIDADE DE MARINGÁ.....</b>	<b>100</b>
<b>FIGURA 80: EXEMPLO DE MODULAÇÃO CONFORME O MODELO 1 E 2 DA CIDADE DE MARINGÁ, COM A LARGURA DE 1,20 M, MÍNIMA NA CIDADE DE SÃO PAULO.....</b>	<b>100</b>
<b>FIGURA 81: EXEMPLO DE MODULAÇÃO CONFORME O MODELO 3 DA CIDADE DE MARINGÁ .....</b>	<b>100</b>
<b>FIGURA 82: ILUSTRAÇÕES DE PAVIMENTO INTERTRAVADO DE CONCRETO, DURANTE O ASSENTAMENTO E O REVESTIMENTO FINALIZADO.....</b>	<b>104</b>
<b>FIGURA 83: ILUSTRAÇÕES DO PISO GRAMA, INSTALADO NO ACESSO DE VEÍCULOS EM RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR. ....</b>	<b>105</b>
<b>FIGURA 84: ILUSTRAÇÕES DE PLACA PRÉ-MOLDADAS DE CONCRETO .....</b>	<b>106</b>
<b>FIGURA 85: ILUSTRAÇÕES DE LADRILHO HIDRÁULICO .....</b>	<b>107</b>
<b>FIGURA 86: ILUSTRAÇÕES PARA A CONFECCÃO DO CONCRETO ESTAMPADO.....</b>	<b>109</b>
<b>FIGURA 87: ILUSTRAÇÃO DO PISO DE BORRACHA, EMPRESA RUBBERSIDEWALKS.....</b>	<b>110</b>
<b>FIGURA 88: ILUSTRAÇÃO DO PISO MEGA DRENO, FABRICANTE BRASTON PISOS.....</b>	<b>111</b>
<b>FIGURA 89: ILUSTRAÇÕES DA CALÇADA VIVA, BENEDITO ABBUD.....</b>	<b>112</b>
<b>FIGURA 90: IMAGEM APROXIMADA DO PISO MEGA DRENO .....</b>	<b>113</b>
<b>FIGURA 91: ENSAIO COM ÁCIDO CLORÍDRICO, EM DETALHES OS PEDRISCOS DE CALCÁRIO COM A REACÇÃO AO ÁCIDO CLORÍDRICO .....</b>	<b>113</b>
<b>FIGURA 92: PLACAS DE GRANITO PARA O TESTE DA BRITAGEM .....</b>	<b>114</b>
<b>FIGURA 93: IMAGENS DO MOINHO DE BARRAS DO LABORATÓRIO DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ.....</b>	<b>114</b>
<b>FIGURA 94: MATERIAL COLOCADO NO INTERIOR DO MOINHO DE BARRAS, E MATERIAL COM A CARGA DE ABRASIVA, RESPECTIVAMENTE.....</b>	<b>115</b>

<b>FIGURA 95: MATERIAL RESULTANTE DO MOINHO: RESTO DAS PLACAS COM PÓ, SEPARAÇÃO DO PÓ, SEPARAÇÃO DAS PLACAS E RESULTADO DA PESAGEM DAS PLACAS SEPARADAS DO PÓ, RESPECTIVAMENTE.....</b>	<b>115</b>
<b>FIGURA 96: IMAGEM APROXIMADA DO PEDRISCO DE BASALTO E DA BRITALEVE®, RESPECTIVAMENTE .....</b>	<b>118</b>
<b>FIGURA 97: ADITIVO PLASTIFICANTE .....</b>	<b>119</b>
<b>FIGURA 98: NA SEQÜÊNCIA, PASTA COM ADITIVO E A COMPARAÇÃO ENTRE A PASTA COM E SEM ADITIVO.....</b>	<b>119</b>
<b>FIGURA 99: AS TRÊS PRIMEIRAS FOTOS A PASTA NÃO POSSUI ADITIVO (PASTA PARA O TRAÇO B) E NA SEQÜÊNCIA A COMPARAÇÃO DA PASTA COM ADITIVO (PASTA PARA O TRAÇO A), AMBAS NO TUBO DE VIDRO.....</b>	<b>120</b>
<b>FIGURA 100: MISTURADOS MECÂNICO UTILIZADO PARA MISTURAR A PASTA DE CIMENTO .....</b>	<b>120</b>
<b>FIGURA 101: MISTURA DA PASTA DO TRAÇO B, SEM ADITIVO .....</b>	<b>121</b>
<b>FIGURA 102: MISTURA DA PASTA SEM ADITIVO (TRAÇO B), E VERIFICAÇÃO DO NÃO ACÚMULO DE PASTA NO FUNDO DA PROVETA.....</b>	<b>121</b>
<b>FIGURA 103: MISTURA DA PASTA COM ADITIVO, TRAÇO A.....</b>	<b>121</b>
<b>FIGURA 104: MISTURA DA PASTA DO TRAÇO A, COM ADITIVO E COM ACÚMULO NO FUNDO DA PROVETA. ....</b>	<b>121</b>
<b>FIGURA 105: APARÊNCIA DOS CORPOS-DE-PROVA, TRAÇOS 1, 2, 3 E 4.....</b>	<b>123</b>
<b>FIGURA 106: TRAÇOS NO COPO DE PLÁSTICO, TRAÇO 3 E 4 .....</b>	<b>123</b>
<b>FIGURA 107: “MODELO” DO TRAÇO 4 SOBRE O BÉQUER DE VIDRO PARA OBSERVAR A PASSAGEM DA ÁGUA. ....</b>	<b>124</b>
<b>FIGURA 108: PASSAGEM DA ÁGUA PELO TRAÇO 4 .....</b>	<b>124</b>
<b>FIGURA 109: CORPO-DE-PROVA 50 X 100 MM, TRAÇO 1, COLOCADO NA PRENSA .....</b>	<b>125</b>
<b>FIGURA 110: DETALHE ROMPIMENTO DO TRAÇO 2.....</b>	<b>125</b>
<b>FIGURA 111: DETALHE ROMPIMENTO DO TRAÇO 3.....</b>	<b>125</b>
<b>FIGURA 112: DETALHE DO CORPO-DE-PROVA DO TRAÇO 3 ROMPIDO .....</b>	<b>126</b>

<b>FIGURA 113: GRANILHA UTILIZADA NOS TRAÇOS 5, 6 E 7.....</b>	<b>126</b>
<b>FIGURA 114: LAVAGEM DA GRANILHA PARA A RETIRADA DOS FINOS.....</b>	<b>127</b>
<b>FIGURA 115: MISTURA DO PEDRISCO, GRANILHA E AREIA.....</b>	<b>127</b>
<b>FIGURA 116: MISTURA TRAÇO 5 .....</b>	<b>127</b>
<b>FIGURA 117: MISTURA TRAÇO 7 .....</b>	<b>128</b>
<b>FIGURA 118: CORPOS-DE-PROVA DOS TRAÇOS 5,6 E 7 DEPOIS DE ROMPIDOS .....</b>	<b>128</b>
<b>FIGURA 119: MISTURA TRAÇO A (PADRÃO).....</b>	<b>129</b>
<b>FIGURA 120: IMAGEM DOS CORPOS-DE-PROVA ESFARELANDO, VISTA DE TODOS E EM DETALHE.....</b>	<b>130</b>
<b>FIGURA 121: MISTURA TRAÇO A.1 .....</b>	<b>131</b>
<b>FIGURA 122: MISTURA TRAÇO 1 .....</b>	<b>131</b>
<b>FIGURA 123: MISTURA TRAÇO 2 .....</b>	<b>131</b>
<b>FIGURA 124: MISTURA TRAÇO 3 .....</b>	<b>131</b>
<b>FIGURA 125: MISTURA TRAÇO 4 .....</b>	<b>132</b>
<b>FIGURA 126: MISTURA TRAÇO 5 .....</b>	<b>132</b>
<b>FIGURA 127: MISTURA TRAÇO 6 .....</b>	<b>132</b>
<b>FIGURA 128: MISTURA TRAÇO 7 .....</b>	<b>132</b>
<b>FIGURA 129: CORPOS-DE-PROVA CAPEADOS.....</b>	<b>133</b>
<b>FIGURA 130: VISTA DO CORPO-DE-PROVA NA PRENSA .....</b>	<b>134</b>
<b>FIGURA 131: CORPOS-DE-PROVA NA PRENSA, ROMPIMENTO.....</b>	<b>134</b>
<b>FIGURA 132: TRAÇOS 4 E 5, NO COPO PLÁSTICO.....</b>	<b>134</b>
<b>FIGURA 133: OBSERVAÇÃO DA PASSAGEM DE ÁGUA PELO TRAÇO 5.....</b>	<b>135</b>
<b>FIGURA 134: FORMA COMO FOI MENSURADO O VOLUME DOS AGREGADOS, SUPERIOR BRITALEVE® E INFERIOR O PEDRISCO .....</b>	<b>136</b>
<b>FIGURA 135: CORPOS-DE-PROVA DEPOIS DE ROMPIDOS, TRAÇOS 4.1, 4.2, 4.3, 5.1, 5.2 E 5.3. ....</b>	<b>136</b>
<b>FIGURA 136: CORPOS-DE-PROVA APÓS O ROMPIMENTO, TRAÇOS 4.1, 4.2, 4.3.....</b>	<b>136</b>

<b>FIGURA 137: FORMA DE METALÃO .....</b>	<b>138</b>
<b>FIGURA 138: DIMENSÃO DA LATERAL DA FORMA.....</b>	<b>138</b>
<b>FIGURA 139: DIMENSÃO DO COMPRIMENTO DA FORMA.....</b>	<b>138</b>
<b>FIGURA 140: MATERIAIS UTILIZADOS .....</b>	<b>139</b>
<b>FIGURA 141: MISTURA NA BETONEIRA E POSTERIORMENTE COLOCADA NA CARRIOLA</b>	<b>139</b>
<b>FIGURA 142: FÔRMA UNTADA COM ÓLEO DIESEL.....</b>	<b>139</b>
<b>FIGURA 143: PREENCHIMENTO DA FÔRMA E ADENSAMENTO COM A MESA VIBRATÓRIA</b> <b>.....</b>	<b>140</b>
<b>FIGURA 144: REGULARIZAÇÃO DA SUPERFÍCIE DA PEÇA .....</b>	<b>140</b>
<b>FIGURA 145: DESENFORMA DA PEÇA SOBRE BASE DE MADEIRA .....</b>	<b>140</b>
<b>FIGURA 146: PEÇA SOBRE BASE DE MADEIRA, APARÊNCIA DA PEÇA ÚMIDA.....</b>	<b>141</b>
<b>FIGURA 147: SECAGEM DAS PEÇAS SOBRE A BASE DE MADEIRA, APARÊNCIA DA PEÇA</b> <b>SECA.....</b>	<b>141</b>
<b>FIGURA 148: PEÇAS NA CÂMARA ÚMIDA .....</b>	<b>141</b>
<b>FIGURA 149: PAVER NA PRENSA DURANTE ENSAIO DE COMPRESSÃO .....</b>	<b>143</b>
<b>FIGURA 150: ESQUEMA DA APARELHAGEM .....</b>	<b>145</b>
<b>FIGURA 151: REPRESENTAÇÃO DO FLUXO D'ÁGUA .....</b>	<b>148</b>
<b>FIGURA 152: PRENSA UTILIZADA PARA A REALIZAÇÃO DO TESTE DE RESISTÊNCIA À</b> <b>COMPRESSÃO.....</b>	<b>156</b>
<b>FIGURA 153: UTILIZAÇÃO DO PAPELÃO COMO CAPEAMENTO DAS PEÇAS.....</b>	<b>156</b>
<b>FIGURA 154: DETALHE DA RUPTURA DAS PEÇAS .....</b>	<b>156</b>
<b>FIGURA 155: CORPOS-DE-PROVA IMERSOS NA ÁGUA .....</b>	<b>158</b>
<b>FIGURA 156: MARCAÇÃO DOS EIXOS NO CORPO-DE-PROVA .....</b>	<b>159</b>
<b>FIGURA 157: CORPO-DE-PROVA NA PRENSA, POSICIONAMENTO DAS BARRAS DE FERRO E</b> <b>RUPTURA.....</b>	<b>159</b>
<b>FIGURA 158: RUPTURA DO CORPO-DE-PROVA .....</b>	<b>159</b>
<b>FIGURA 159: CORPOS-DE-PROVA ROMPIDOS.....</b>	<b>159</b>

<b>FIGURA 160: REGULARIZAÇÃO DAS PEÇAS COM ARGAMASSA DE CIMENTO.....</b>	<b>161</b>
<b>FIGURA 161: VEDAÇÃO DAS LATERAIS COM PARAFINA.....</b>	<b>162</b>
<b>FIGURA 162: VISTA DA CAIXA METÁLICA .....</b>	<b>162</b>
<b>FIGURA 163: VISTA DO FUNDO DA CAIXA METÁLICA.....</b>	<b>162</b>
<b>FIGURA 164: VEDAÇÃO DAS LATERAIS ENTRE A AMOSTRA E A CAIXA COM BENTONITA E MASSA DE VIDRACEIRO .....</b>	<b>162</b>
<b>FIGURA 165: CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS .....</b>	<b>163</b>
<b>FIGURA 166: CROQUI DO ESQUEMA DE MONTAGEM DO ENSAIO .....</b>	<b>164</b>
<b>FIGURA 167: MONTAGEM DO ENSAIO .....</b>	<b>164</b>
<b>FIGURA 168: MEDIÇÃO INTERNA PARA DETERMINAR A PERDA DE CARGA.....</b>	<b>164</b>
<b>FIGURA 169: INSTRUMENTO DE MEDIÇÃO DA VAZÃO DE ENTRADA DO ENSAIO.....</b>	<b>165</b>
<b>FIGURA 170: LOCALIZAÇÃO DA CIDADE DE MARINGÁ: BRASIL – PARANÁ.....</b>	<b>186</b>
<b>FIGURA 171: VISTA AÉREA DA CIDADE MARINGÁ, VISTA DA CATEDRAL (LEANDRO SIMOES).....</b>	<b>186</b>
<b>FIGURA 172: DELIMITAÇÃO DA ÁREA MENSURADA DENTRO DO PERÍMETRO URBANO DE MARINGÁ, BAIRRO NOVO CENTRO. ....</b>	<b>186</b>
<b>FIGURA 173: PONTOS MENSURADOS, ONDE SE ENCONTRA DIFERENTES TIPOLOGIAS DE PAVIMENTAÇÃO.....</b>	<b>187</b>
<b>FIGURA 174: ILUSTRAÇÕES DOS APARELHOS: THDL 400 E TERMÔMETRO A LASER, RESPECTIVAMENTE.....</b>	<b>188</b>
<b>FIGURA 175: FENÔMENOS PRODUZIDOS QUANDO UMA ONDA SONORA ENCONTRA UM PAINEL .....</b>	<b>189</b>
<b>FIGURA 176: CURVA DE ABSORÇÃO SONORA DE MATERIAL POROSO .....</b>	<b>190</b>

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>GRÁFICO 1: RESISTÊNCIAS MECÂNICAS À COMPRESSÃO - COMPARAÇÃO.....</b>	<b>151</b>
---	------------

## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA 01: ALBEDO DE MATERIAIS DA CONSTRUÇÃO .....</b>	<b>36</b>
<b>TABELA 02: CUSTOS (%) DOS SISTEMAS DE INFRA-ESTRUTURA URBANA.....</b>	<b>48</b>
<b>TABELA 3: POROSIDADE EFETIVA DE SOLOS/PAVIMENTOS .....</b>	<b>68</b>
<b>TABELA 4: TAXAS DE INFILTRAÇÃO DAS ÁGUAS PLUVIAIS PARA DIFERENTES TIPOS DE OCUPAÇÃO, SOLO E PAVIMENTAÇÃO URBANA.....</b>	<b>69</b>
<b>TABELA 05: PROPRIEDADES ACÚSTICA DA BRITA DE E.V.A .....</b>	<b>116</b>
<b>TABELA 06: COMPARATIVO DAS PROPRIEDADES DA BRITA DE E.V.A. COM OUTROS AGREGADOS DA MESMA FINALIDADE.....</b>	<b>116</b>
<b>TABELA 7: PRIMEIROS TRAÇOS .....</b>	<b>122</b>
<b>TABELA 8: TRAÇO COM PORCENTAGEM DE BRITALEVE® .....</b>	<b>123</b>
<b>TABELA 9: PESO (GR) DOS TRAÇOS 1,2,3 E 4.....</b>	<b>125</b>
<b>TABELA 10: RESULTADO DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS TRAÇOS 1, 2, 3 E 4 .....</b>	<b>126</b>
<b>TABELA 11: TRAÇOS 5, 6 E 7 .....</b>	<b>127</b>
<b>TABELA 12: RESULTADO DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS TRAÇOS 1, 2, 3. .....</b>	<b>128</b>
<b>TABELA 13: TRAÇOS PARA O PISO .....</b>	<b>129</b>
<b>TABELA 14: TRAÇOS VARIADOS A PARTIR DO TRAÇO A .....</b>	<b>130</b>
<b>TABELA 15: RESULTADO DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS TRAÇOS 1, 2, 3, 4, 5, 6 E 7.....</b>	<b>134</b>
<b>TABELA 16: TRAÇO 4 COM ADIÇÃO DE BRITALEVE® .....</b>	<b>135</b>
<b>TABELA 17: TRAÇO 5 COM ADIÇÃO DE BRITALEVE® .....</b>	<b>135</b>
<b>TABELA 18: RESULTADO DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS TRAÇOS 4.1 (1 E 2 COM 5%), 4.2 (3 E 4 COM 10%) E 4.3 (5 COM 15%).....</b>	<b>137</b>
<b>TABELA 19: RESULTADO DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS TRAÇOS 5.1 (1 E 2 COM 5%), 5.2 (3 E 4 COM 10%) E 5.3 (5 COM 15%).....</b>	<b>137</b>

<b>TABELA 20: COEFICIENTE DE STUDENT (NÍVEL DE CONFIANÇA DE 80%) .....</b>	<b>144</b>
<b>TABELA 21: FATOR MULTIPLICATIVO DE “P” DE CORREÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....</b>	<b>144</b>
<b>TABELA 22: VALORES DA VISCOSIDADE D’ÁGUA CONFORME A TEMPERATURA.....</b>	<b>150</b>
<b>TABELA 23: ESPECIFICAÇÕES DO CIMENTO CP V ARI, SEGUNDO A NBR-5733 (1991).</b>	<b>151</b>
<b>TABELA 24: RESISTÊNCIAS MECÂNICAS À COMPRESSÃO .....</b>	<b>151</b>
<b>TABELA 25: RESULTADO DO ENSAIO DE ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO MIÚDO - AREIA.....</b>	<b>152</b>
<b>TABELA 26: RESULTADOS DO ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO E DA MASSA ESPECÍFICA DO AGREGADO GRAÚDO – BRITA DE BASALTO .....</b>	<b>153</b>
<b>TABELA 27: RESULTADO DO ENSAIO DE ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO GRAÚDO – BRITA DE BASALTO .....</b>	<b>153</b>
<b>TABELA 28: ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DO RESÍDUO DE E.V.A. ....</b>	<b>154</b>
<b>TABELA 29: RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO PISO ECOLÓGICO, IDADE DE 7 DIAS.....</b>	<b>157</b>
<b>TABELA 30: RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO PISO ECOLÓGICO, IDADE DE 28 DIAS.....</b>	<b>157</b>
<b>TABELA 31: RESISTÊNCIA À FLEXÃO DO PISO ECOLÓGICO, IDADE DE 07 DIAS.....</b>	<b>160</b>
<b>TABELA 32: RESISTÊNCIA À FLEXÃO DO PISO ECOLÓGICO, IDADE DE 28 DIAS.....</b>	<b>160</b>
<b>TABELA 33: CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS.....</b>	<b>163</b>
<b>TABELA 34: RESULTADOS DO ENSAIO DE PERMEABILIDADE.....</b>	<b>165</b>
<b>TABELA 35: VALORES TÍPICOS DE COEFICIENTES DE PERMEABILIDADE.....</b>	<b>166</b>
<b>TABELA 36: COMPOSIÇÃO ANALÍTICA DE PREÇO UNITÁRIO DO PISO ECOLÓGICO.....</b>	<b>168</b>
<b>TABELA 37: CUSTO DE PISOS PARA O CONSUMIDOR .....</b>	<b>168</b>
<b>TABELA 38: VALORES PARA CÁLCULO E ÍNDICES DE DESEMPENHO DO PISO ECOLÓGICO .....</b>	<b>170</b>
<b>TABELA 39: PONDERAÇÃO PARA OS VALORES DE IAD .....</b>	<b>171</b>
<b>TABELA 40: TEMPOS DE REVERBERAÇÃO MÍNIMOS PARA A SALA REVERBERANTE .....</b>	<b>192</b>

# 1 INTRODUÇÃO

---

A necessidade de métodos de avaliação de decisões que contribuam positivamente na consecução do desenvolvimento sustentável e na melhoria da qualidade de vida urbana é latente. Estes métodos de avaliação auxiliam o gerenciamento do planejamento urbano, que muitas vezes se mostra deficiente quanto aos problemas de conforto ambiental, gerados pelo desenvolvimento do meio urbano e que atingem os seus habitantes. Neste sentido, são necessários novos mecanismos e instrumentos que sejam compatíveis para a melhoria dos indicadores da qualidade urbana, uma vez que estes são indispensáveis ao planejamento e gerenciamento das cidades, auxiliando no esclarecimento do comportamento urbano.

Na busca de soluções quanto aos problemas do desenvolvimento urbano como, o ruído urbano (também produzido pelo tráfego de veículos), o conforto térmico e conforto luminoso, a sustentabilidade e a acessibilidade e a drenagem urbana, esta pesquisa se propôs a desenvolver um produto voltado à pavimentação para pedestres na área urbana. A tipologia do pavimento proposto pela pesquisa deverá possuir características que auxiliem na melhoria do conforto termo-acústico e drenagem do solo, a fim de minimizar o desconforto que o processo de urbanização gera para os seus habitantes e transeuntes.

A permeabilidade é a característica principal a ser buscada nesta pavimentação, pela sua influência positiva em termos de reposição hídrica. O objetivo é possibilitar um aumento da permeabilidade do solo no meio urbano, melhorando a infiltração das águas pluviais, que em muitos casos geram acúmulos de água periódicos, e em casos extremos, enchentes em determinados pontos das cidades, além do déficit de absorção para o lençol freático da região.

A cada dia cresce a consciência pela importância da reciclagem de materiais auxiliando o planejamento ambiental das cidades, contribuindo para a o equilíbrio do meio ambiente e conseqüentemente no acréscimo da qualidade de vida urbana, que necessita cada vez mais de novas e melhores estratégias ambientais para se sustentar. O desenvolvimento do produto também se propõe a incorporar algum material reciclável, sendo as sobras de etileno-acetato de vinila (E.V.A.), material oriundo da fabricação de solas de sapatos,

reutilizando-o em busca de agregar propriedades acústicas ao piso, caminhando ao encontro do conceito de sustentabilidade<sup>1</sup>.

Com a proposta de trabalhar para suprir as dificuldades econômicas que crescem a cada dia e acabam sendo uma das principais, senão a principal, condicionante do gerenciamento urbano, este material se preocupa em possibilitar um retorno ecológico à sociedade, bem como ao investidor urbano na instalação e/ou manutenção da pavimentação e/ou infraestrutura, isso a curto, médio ou longo prazo.

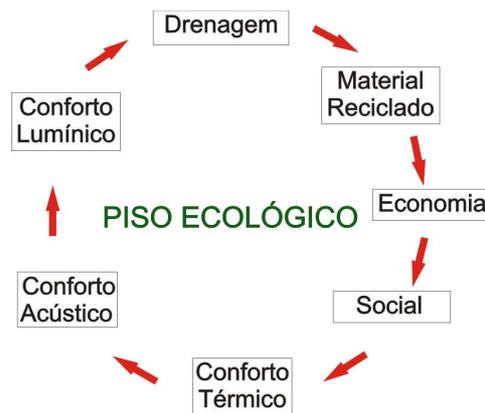
Dessa forma, esta pesquisa se justifica pela importância de preservar o bem estar da população, melhorando a qualidade de vida da comunidade e do meio urbano. Ao mesmo tempo, este trabalho busca comprovar a eficiência do desenvolvimento de um material com as características propostas e que tenha a preocupação com a sustentabilidade das cidades e com o meio ambiente, reciclando um material que é descartado e/ou fica disposto na natureza por gerações até que estes se decomponham.

## **1.1 PROPOSTA DA PESQUISA**

A proposta desta pesquisa se resume em desenvolver um produto, denominado de piso ecológico, para ser utilizado na pavimentação urbana voltada ao trânsito de pedestres, buscando incorporar, no desenho do produto, características ligadas ao conforto térmico, conforto acústico, conforto luminoso e permeabilidade do solo. Este piso foi elaborado com a intenção de mitigar os aspectos negativos atribuídos aos espaços urbanos.

---

<sup>1</sup> Constituição de 1988, capítulo VI, do Meio Ambiente. Art. 225. “Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”. Disponível em [www.previdencia.gov.br](http://www.previdencia.gov.br), acessado em 08 de outubro de 2006.



**Figura 01: Relação das características que se deseja atingir com o produto**

**Fonte: Autor, 2008**

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver um produto voltado à pavimentação urbana, piso ecológico, buscando incorporar ao seu desenho características termo-acústicas, sendo autodrenante, e contendo em sua composição retalhos e aparas do copolímero de etileno-acetato de vinila (E.V.A.).

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Analisar a viabilidade e eficiência do material proposto (piso ecológico);
  - Verificar a permeabilidade do piso ecológico;
  - Avaliar as propriedades mecânicas do material;
  - Avaliar a durabilidade do material;
  - Avaliar se o piso possui propriedades acústicas que reduzam o ruído urbano;
  - Verificar se as propriedades térmicas do material contribuem para o conforto térmico;
  - Estudar e verificar a viabilidade econômica urbana do material;
- Incorporar no produto material reciclável;
- Produzir e usar peças produzidas do piso ecológico nos testes.

### **1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

Para atingir os objetivos de pesquisa propostos, o trabalho foi desenvolvido e estruturado em cinco capítulos, até o momento, descritos a seguir:

- O capítulo 1 apresenta o contexto da pesquisa, justificativas, proposta/problemática, objetivos e a estrutura da dissertação.
- No capítulo 2 são discutidos os principais conceitos relacionados ao meio urbano que interferem ou não na questão do revestimento do solo.
- O capítulo 3 apresenta conceitos relacionados ao desenvolvimento de produtos, a concepção da idéia do produto, sua forma e estética, a necessidade da população e viabilidade de sua aceitação no mercado, bem como, uma pesquisa de mercado sobre materiais similares.
- No capítulo 4 tem-se a descrição dos métodos para a realização dos testes e a caracterização dos materiais utilizados para o desenvolvimento do piso ecológico.
- O capítulo 5 relata os ensaios, seus resultados, análises e discussões.
- O capítulo 6 possui as conclusões da pesquisa e sugestões para trabalhos futuros.
- O capítulo 7 contém as referências bibliográficas utilizadas na pesquisa.
- E os anexos A e B, propõem métodos para testes em trabalhos futuros.

## 2 REVISÃO TEÓRICA

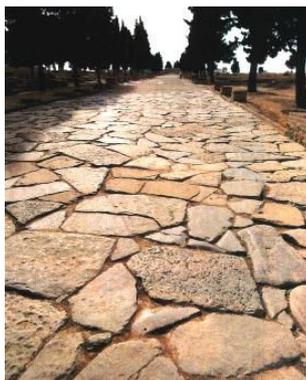
---

Neste capítulo far-se-á a revisão teórica dos tópicos do meio urbano de interesse. Pois, estudando as problemáticas que o perímetro urbano possui, obtêm-se um caminho para a definição de características que um produto, voltado ao uso urbano, pode e deve possuir para auxiliar no conforto ambiental e na drenagem do solo da área urbana.

### 2.1 BREVE HISTÓRICO DA PAVIMENTAÇÃO

Na antiguidade as cidades desenvolviam, conforme o seu crescimento, redes de infraestrutura urbana para a sobrevivência da população. Esta infra-estrutura englobava abastecimento de água, pavimentação e outros benefícios sanitários à civilização. Nesta pesquisa serão exploradas as redes viárias, o estudo da pavimentação e sua importância para o beneficiamento da população.

As cidades egípcias e as mesopotâmicas eram pavimentadas com lajes de pedra, cuidadosamente acomodadas por escravos, para facilitar a passagem das carruagens. Dentre estas, tem merecedor destaque uma na Babilônia que consiste num caminho sagrado, pavimentado com lajes de pedra cortadas em cubos na forma de paralelepípedos com aproximadamente um metro de lado, nas cores vermelhas e brancas (MASCARÓ, 2005).



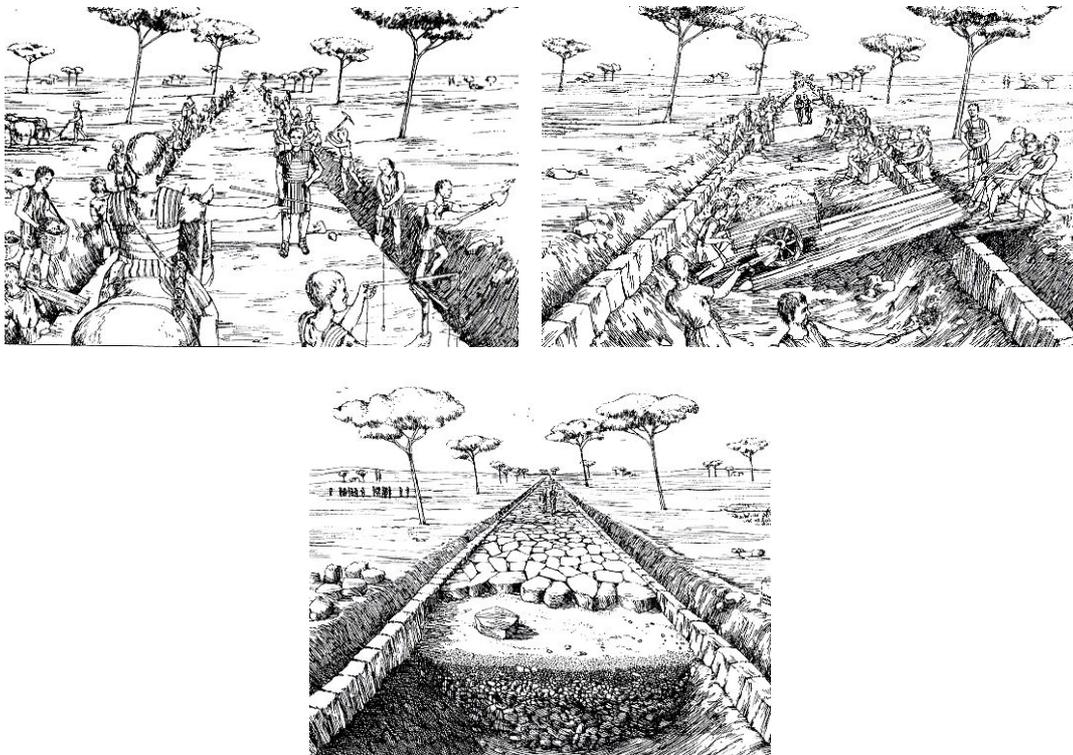
**Figura 02: Imagem Via Ápia**

**Fonte: ACERVO AUTOR**

Os impérios se desenvolveram a partir de grandes cidades muito bem servidas de infraestrutura ligadas por uma extensa rede de estradas que uniam as duas diferentes cidades (MASCARÓ, 2005). Os romanos, por exemplo, tinham suas estradas construídas a partir

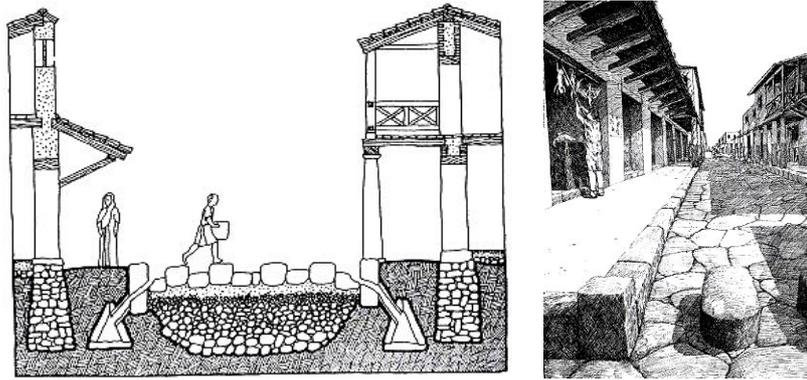
de um calçamento artificial de pedras batidas coberto por saibro fino e revestido superficialmente por pedras chatas poligonais. A largura era limitada em 4-6 metros, para permitir a passagem de pedestres e carros. O sentido das estradas era escolhido buscando evitar obstáculos naturais do terreno, mesmo que estas se tornassem bastante longas, como a via Ápia (figura 02). Se existisse um relevo acidentado cortavam-se as rochas para que o percurso corresse o mais reto e plano possível (BENÉVOLO, 2003).

Conforme MACAULAY (1989), as estradas romanas ficavam prontas antes das cidades serem construídas, e as ruas também eram executadas antes que as muralhas das cidades estivessem terminadas. O processo era muito parecido com o descrito a seguir: as estradas eram estaqueadas, depois cavadas as valetas de cada lado, onde se colocava uma fileira de blocos, com o intuito de formar uma borda. Em seguida, cavava-se uma valeta mais profunda entre as duas bordas, para ser preenchida com camadas de pedra. A camada superior formava o revestimento, que era levemente abaulado do centro para as margens, para que as água das chuvas escoassem para as valetas. A calçada era executada por pedras planas, cuidadosamente colocadas juntas, uma a uma, e as fendas então eram preenchidas com pedras menores ou com ferro (figuras 03 e 04).



**Figura 03: Ilustração das etapas de construção nas estradas romanas**

**Fonte: MACAULAY, 1989**



**Figura 04: Perfil da pavimentação romana e ilustração de rua no interior da cidade**

**Fonte: MACAULAY, 1989**

Com a crise econômica do século II d. C., houve invasões nas cidades e anarquias políticas. Os burgueses então fugiram para o campo, dando início ao processo de ruralização, construindo castelos murados e pavimentando os caminhos para o acesso as suas casas. Neste período, as ruas das cidades se tornaram uma mistura de barro e esgoto, até que a pavimentação gradualmente voltasse a ser aplicada nas cidades européias e popularizada no século XIV. Neste retorno, apenas as vias que ligavam os monumentos das cidades eram pavimentadas. Paris, a maior e mais rica cidade européia, estava completamente pavimentada já no século XVIII (MASCARÓ, 2005).

Segundo SNACKEL (1990, apud CRUZ, 2003) a pavimentação de peças segmentadas vem sendo aplicada pelo homem desde a Idade Média e a sua utilização estava basicamente ligada a oferta dos materiais locais com a junção do desenvolvimento de técnicas de execução. O método de evolução da tipologia de peças de pavimentação segmentadas pode ser representada por 4 (quatro) tipos de materiais, são eles: blocos de tijolos de argila, pedras talhadas, peças aparelhadas manualmente e blocos de tijolo de madeira, e piso intertravado de concreto.

Hoje, com o desenvolvimento do transporte, dificilmente encontramos uma rua não pavimentada, principalmente nos centros urbanos. Dentre muitos materiais que podem ser utilizados na pavimentação urbana, o piso intertravado, a exemplo dos povos antigos, vem ganhando demanda e se destacando em inúmeras áreas dentro do mercado nacional e internacional.

### **2.1.1 Início do piso intertravado de concreto**

Os primeiros avanços no desenvolvimento da pavimentação com a utilização de peças em concreto pré-moldado, ocorreram na Holanda e Alemanha no período de reconstrução das

idades após a Segunda Guerra Mundial. A partir de 1950, houve uma evolução dos modelos de fôrmas existentes para a fabricação das peças do piso intertravado. Primeiramente, as peças imitavam os tijolos e pedras aparelhadas utilizadas na época, objetivando obter sua substituição gradual. Nesta fase, as únicas vantagens de utilização eram os custos mais baixos e a homogeneidade dimensional (CRUZ, 2003).

Em meados dos anos 1960, o pavimento de peças em concreto pré-moldado já estava consolidado comercialmente, além da Europa, nas Américas Central e do Sul e África do Sul. Na década de 1970, cresceu o uso nos Estados Unidos, Austrália, Nova Zelândia e Japão. No final da década de 1970, proliferaram em todo o mundo e pelo menos 200 tipos de formas e diversos tipos de equipamentos de fabricação eram comercializados (FIORITI, 2007).

O conceito de intertravamento visa melhor controle de espessuras das juntas com benefícios práticos para o assentamento das peças, facilmente detectados, permitindo o correto assentamento e a utilização de mão de obra pouco especializada. Por fim, o desenvolvimento desta pavimentação permitiu relacionar a escolha da forma geométrica com o desempenho do pavimento, em função do tipo de tráfego. Mais recentemente, novas e importantes mudanças ocorreram com a iniciativa de desenvolver o assentamento mecânico (CRUZ, 2003).

A demanda pela utilização desta tipologia de pavimentação vem crescendo a cada dia, por ser um piso de fácil execução, de longa duração, reaproveitável, entre outras vantagens que também englobam preocupações ambientais, como a permeabilidade que esta pavimentação proporciona em suas juntas, auxiliando o escoamento superficial e minimizando a ocorrência de inundações periódicas no perímetro urbano, entre outros.

## **2.2 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**

### **2.2.1 O homem e a natureza**

O homem, através da sua interação com a natureza, possuiu o desejo de conquista de territórios e hoje pela terra, causando impactos no meio natural onde ele se insere. Ao longo da história da humanidade três orientações básicas formam as bases da interação do homem com a natureza (CAMARGO, 2003).

Nos primórdios (a primeira fase), o ser humano era considerado subjugado pela natureza, onde o mundo natural era considerado onipotente. Na segunda fase, a Revolução

Industrial, o ser humano então passa a ser o dono do mundo, superior a natureza, buscando descobrir e revelar todos os seus segredos. Após isto, na terceira fase, o homem se interliga com a natureza e descobre que deve caminhar juntamente com ela, adaptando-se à ela, e respeitando os seus limites (CAMARGO, 2003).

Questões consideradas fundamentais para a discussão do desenvolvimento sustentável são o bem-estar do homem; o meio ambiente e o futuro. Estas questões contemplam a poluição, biodiversidade, exploração de recursos naturais, efeitos climáticos, dentre outros, como também o desemprego, a pobreza e riqueza, tecnologias, valores culturais, organizações, etc (CAMARGO, 2003).

Conforme Branco (1989), a palavra natureza tem origem do latim *natura*, e possui o significado de “ação de fazer, nascer”, sendo a geradora, o conjunto de onde tudo nasce. Deve-se lembrar que a natureza é que proporciona a vida, sem ela não teríamos o que comer, beber ou respirar. Com o intuito de preservar a natureza do próprio homem, a Organização das Nações Unidas (ONU), criada em 1945, mais tarde veio a possuir papel fundamental nas questões relacionadas aos problemas ambientais. Promovendo encontros e fomentando discussões à respeito da preservação da natureza (CAMARGO, 2003).

Conforme o relatório Nosso Futuro Comum (1991), para se ter um desenvolvimento sustentável é inevitável atender às necessidades básicas de todos e dar a todos a oportunidade de realizar os seus desejos para uma vida melhor, fazendo do desenvolvimento humano um fator essencial para o desenvolvimento sustentável. Para Franco (2000, apud CAMARGO, 2003), no centro desta discussão está a questão da qualidade de vida da população, que pode estar inserida no grau de prazer, satisfação e realização alcançados pelo indivíduo em seu processo de vida.

A Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável (realizada em 2002<sup>2</sup>) então mostra que o homem ainda não está pronto, que prevalecem os interesses comerciais e econômicos, os interesses pessoais e de blocos de países, sobre os direitos humanos e a preservação do meio ambiente. Foi nesta reunião que os Estados Unidos, demonstraram ser no mínimo irresponsáveis pela sua postura, diante do fato do país ser o maior poluidor do planeta (CAMARGO, 2003).

---

<sup>2</sup> Verificar parágrafo 5 do item 2.2.2 Surgimento do termo “desenvolvimento sustentável).

Para a União Internacional dos Arquitetos, UIA, os arquitetos devem respeitar e conservar os sistemas de valores do patrimônio natural e da comunidade no qual desenvolvem o seu trabalho. Assim, devem-se melhorar o meio ambiente, a qualidade de vida e o habitat da sociedade com uma visão sustentável, estando plenamente conscientes do efeito do seu trabalho sobre o conjunto que as pessoas vão utilizar e desfrutar como produto do seu trabalho (EDWARDS, 2004).

### **2.2.2 Surgimento do termo “desenvolvimento sustentável”**

A Conferência de Estocolmo, em 1972, foi marcada pelas discussões a respeito do meio ambiente. E foi nesta reunião em que pela primeira vez se utilizou a palavra *ecodesenvolvimento*, como uma forma de definir a proposta de um “desenvolvimento ecologicamente orientado” e de estudar novas modalidades de desenvolvimento (CAMARGO, 2003, p.80).

Para Sachs (1986, apud Barbieri 1997, p. 110) uma definição para o ecodesenvolvimento é um “desenvolvimento ecologicamente desejável, economicamente viável e ecologicamente prudente”. Os debates sobre o ecodesenvolvimento continuaram e se difundiram sendo substituído pelo termo *desenvolvimento sustentável*.

Foi na década de 90 que houve um amadurecimento da consciência ambiental e o termo “qualidade ambiental” passou a fazer parte do universo social. Em 1992, ocorre a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, também conhecida como Rio-92, Eco-92 ou Cúpula da Terra. Considerado o encontro mais promissor e importante do século XX (MOURA, 2000).

A Rio - 92 teve como documentos oficiais aprovados a Declaração do Rio de Janeiro sobre o meio ambiente e o desenvolvimento; a convenção sobre mudanças climáticas; Declaração de Princípios sobre Florestas e a Agenda 21. A Agenda 21 é uma espécie de manual orientativo às nações e comunidades para a sua transição em uma nova sociedade, sem impor vínculos obrigatórios. Assim, este é um plano de intenções não obrigatório, ou seja, sua implantação depende da vontade e da consciência dos governantes de cada país (CAMARGO, 2003).

Na grande Conferência das Nações Unidas na África do Sul, em 2002, denominada de “The World Summit on Development” (“Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável”) ou Rio+10, verificou-se os avanços da Rio - 92, tendo como referência a Agenda 21, e como foco principal o “desenvolvimento sustentável”. Assim, a Rio+10

representou mais uma vez a dificuldade do ser humano em cooperar uns com os outros, em benefício de si mesmos, tendo poucos resultados obtidos desde a Rio - 92 (CAMARGO, 2003).

Para Edwards (2004) nós todos temos a obrigação de preservar o mundo para os nossos filhos, pois, somos a primeira geração que *conscientemente* entrega aos nossos filhos um planeta finito, sujeito a um equilíbrio delicado e em pior estado do que recebemos. Uma grande culpa recai sobre os ombros dos homens, e não é exagerado dizer que se um extraterrestre visitasse o planeta Terra, possivelmente veria o ser humano como um vírus que ataca o seu próprio planeta.

### **2.2.3 Conceito e concepção do desenvolvimento sustentável**

Para compreender a concepção do desenvolvimento sustentável faz-se necessário analisar as duas palavras, desenvolvimento e sustentável, que compõem o termo separadamente. Desenvolvimento tem como sinônimo crescimento, assim sugere evolução, produção, inovação, acumulação. Crescimento é uma condição indispensável ao desenvolvimento, mas não uma condição suficiente (CAMARGO, 2003).

O enfoque do desenvolvimento sustentável se encontra na idéia de progresso, dentro da sociedade moderna, o progresso da técnica e do conhecimento, ligando à palavra desenvolvimento a idéia de progresso. Voltando-a em benefício do ser humano e da natureza.

O termo desenvolvimento sustentável está focado na idéia de progresso. Dentro de uma sociedade moderna o progresso é ligado à técnica e ao conhecimento, compreensão esta que torna o termo desenvolvimento sinônimo de progresso voltado ao benefício do ser humano e da natureza. Já a palavra sustentar, remete ao segurar, resistir, apoiar, conservar, manter, fornecer ou garantir o necessário para a sobrevivência<sup>3</sup>. Ao se juntar com o desenvolvimento no termo “desenvolvimento sustentável” a palavra adquire um significado mais específico, ligado aos conceitos de ecologia, natureza e suporte (CAMARGO, 2003).

A expressão desenvolvimento sustentável se tornou conhecida, em 1987, com o encerramento da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, ou

---

<sup>3</sup> Dicionário Aurélio

Comissão Brundtland, com a publicação do relatório *Nosso Futuro Comum*, onde o critério de sustentabilidade aparece como argumento central para a formulação de novas políticas de desenvolvimento.

A concepção do termo vem evoluindo com o passar dos anos, incorporando cada vez mais conhecimento e se relacionando com o meio ambiente, buscando delimitar a sua complexidade. As definições de desenvolvimento sustentável mais conhecidas estão no relatório *Nosso Futuro Comum* (1987):

“Desenvolvimento sustentável é um novo tipo de desenvolvimento capaz de manter o progresso humano não apenas em alguns lugares e por alguns anos, mas em todo o planeta e até um futuro longínquo”.

“O desenvolvimento sustentável é aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade de as gerações futuras atenderem as suas próprias necessidades”.

“Em essência, o desenvolvimento sustentável é um processo de transformação no qual a exploração do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional se harmonizam e reforçam o potencial presente e futuro, a fim de atender às necessidade e aspirações humanas”.

(apud CAMARGO 2003, p. 71)

Conforme Maimon (1996, apud CAMARGO 2003, p.72) o desenvolvimento sustentável pode ser interpretado como:

... a busca simultânea a eficiência econômica, a justiça social e a harmonia sustentável. Mais do que um novo conceito, é um processo de mudança onde a exploração de recursos, a orientação dos investimentos, os rumos do desenvolvimento ecológico e a mudança institucional devem levar em conta as necessidades das gerações futuras.

De forma objetiva o Center of excellence for sustainable development (2001, apud CAMARGO 2003, p.73) conceitua o desenvolvimento sustentável como:

... uma estratégia através da qual comunidades buscam um desenvolvimento econômico que também beneficie o meio ambiente local e a qualidade de vida. Tem-se tornado um importante guia para muitas comunidades que descobriram que os métodos tradicionais de planejamento e desenvolvimento estão criando, ao invés de resolver, problemas sociais e ambientais. Enquanto os métodos tradicionais podem levar a sério os problemas sociais e ambientais, o desenvolvimento sustentável fornece uma estrutura através da qual as comunidades podem usar recursos mais eficientes, criar infra-estruturas eficientes, proteger e melhorar a qualidade de vida, e criar novos negócios para fortalecer duas economias. Isso pode nos auxiliar a criar comunidades saudáveis que possam sustentar nossa geração tão bem quanto as que vierem.

Os arquitetos (e todos os profissionais com conhecimento técnico) possuem um papel muito importante, que como projetistas criativos, podem implantar formas alternativas nas cidades para buscar garantir um futuro sustentável, com estratégias de projeto responsáveis seja para edifícios individuais ou para o meio urbano (EDWARDS, 2004).

Para isso, a sociedade deve exigir um desenho sustentável, pois os arquitetos não podem impor e, as associações, ainda não estão sendo capazes de regulamentá-lo. Porém é responsabilidade, também dos arquitetos, proporcionar alternativas para o futuro que permitam que a humanidade viva em harmonia com o seu anfitrião, o meio ambiente (EDWARDS, 2004).

Fica clara e perceptível a necessidade de um novo tipo de desenvolvimento que seja capaz de manter o progresso humano em muitos lugares e por muitos anos, em todo o planeta e para um futuro longínquo (NOSSO FUTURO COMUM, 1991). Assim, para Camargo (2003) o ser humano parece estar favorável ao desenvolvimento sustentável, embora pouco se conheça sobre como promovê-lo e como introduzi-lo no âmbito dos planejamentos nacionais, regionais e locais. Acredita-se que todos tenham a capacidade e o bom senso de incorporá-lo em suas ações diárias, sem esperar que o poder público diga como fazê-lo.

Para o relatório Cuidando do Planeta Terra (1991, apud CAMARGO 2003), são nove os princípios que uma sociedade necessita para ser sustentável. Estes princípios estão inter-relacionados, a seguir, e se apóiam mutuamente:

1. respeitar e cuidar da comunidade e dos seres vivos;
2. melhorar a qualidade de vida;
3. conservar a vitalidade e a diversidade do planeta;
4. minimizar o esgotamento de recurso não-renováveis;
5. permanecer nos limites da capacidade de suporte da Terra;
6. modificar atitudes e práticas pessoais;
7. permitir que as comunidades cuidem de seu próprio meio ambiente;
8. gerar uma estrutura nacional para integração do desenvolvimento e conservação;
9. construir uma aliança global.

Para Gauzin-Müller (2002) a degradação dos entornos naturais causa danos irreversíveis ao planeta e a seus habitantes, a estes danos estão relacionados quatro fenômenos principais:

- o crescimento acelerado da população;
- o esgotamento das matérias primas e dos combustíveis fósseis;
- a degradação do ar, da água e do solo;
- a proliferação de resíduos;

O desenvolvimento sustentável pode ser entendido ou compreendido como um valor, uma ética pessoal, de cada cidadão para com o próximo, sobre como poderíamos viver e usufruir do mundo de forma a não depredá-lo. Pode ser considerado uma doutrina de vida,

com o objetivo de estar na direção de um progresso que integre os interesses sociais, econômicos e naturais, buscando uma linha contrária à depredação do meio ambiente.

## 2.3 ACESSIBILIDADE

“Trabalhar cada um em esfera de competência e segundo suas possibilidades para uma casa e uma cidade mais humanas, para uma cidade que seja capaz e organizada arquitetonicamente para todos os homens, inclusive aos que usam cadeiras de rodas possam circular plenamente, livremente ...”

Le Corbusier (n.d.)<sup>4</sup>

“Os Estados-membros devem adotar uma política que tenha em conta os aspectos de acessibilidade e planejamento de assentamentos urbanos, incluindo os programas das zonas rurais dos países em desenvolvimento”.

Assembléia-Geral das Nações Unidas (1982)<sup>5</sup>

A natureza do Homem é de ser social, porém a sociedade possui processos segregadores, onde a falta de acessibilidade está inserida como um desses processos. Atualmente, o desenho universal tenta equalizar os espaços a fim de promover a acessibilidade como a garantia do direito de ir e vir a toda população. Esse direito enfatiza a autonomia e independência de pessoas com deficiência ou mobilidade reduzida, proporcionando, assim, seu fortalecimento social, político e econômico.

O desenvolvimento da acessibilidade, dentro do processo de projetar um meio ambiente mais abrangente e menos restritivo, é uma tendência mundial e irreversível que garante a melhoria da qualidade de vida do ser humano. Contudo este tópico, inserido neste trabalho, vem contribuir para a análise do produto a ser desenvolvido para que este atenda a necessidade que grande parte da população almeja.

### 2.3.1 Pessoas portadoras de deficiência ou mobilidade reduzida

O termo pessoa com deficiência não se resume apenas ao indivíduo que tem a falta de um braço ou perna, falta de visão ou audição, com uma estrutura mental diferente ou falha no caminhar ou parar em pé, estes fatos não sintetizam todas as deficiências. Uma pessoa com deficiência também é o indivíduo que se encontra impotente face às situações da vida cotidiana, isso demonstra inúmeros significados para palavra deficiência podendo ser vista

---

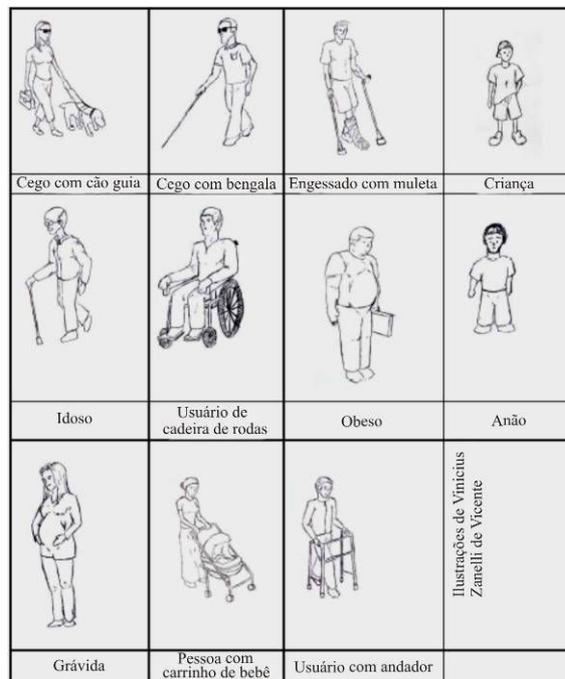
<sup>4</sup> Le Corbusier, Curso Básico sobre acessibilidade al medio físico: evitación y supresión de barreras arquitectónicas, urbanísticas y del transporte, n.d. (apud CAMBIAGHI, 2007, p. 151).

<sup>5</sup> Assembléia-Geral das Nações Unidas, Programa de ação mundial para as pessoas com deficiência, Resolução 37/52, Nova York, ONU, 1982, artigo 113 (apud CAMBIAGHI, 2007, p. 169).

como produto de interação entre as inúmeras variações sociais (NÚCLEO PRÓ-ACESSO, 2004).

Conforme a Organização das Nações Unidas (1975), o termo “pessoa deficiente” diz respeito a qualquer pessoa incapaz de assegurar por si mesma, total ou parcialmente, as necessidades da vida individual ou social normal, decorrente da deficiência congênita ou não, em suas capacidades físicas, sensoriais ou mentais.

A NBR 9050/2004, define que uma pessoa com mobilidade reduzida é aquela que permanentemente ou temporariamente, tem a sua capacidade de se relacionar com meio e utilizá-lo limitada (figura 05). Entende-se por pessoa com mobilidade reduzida: pessoa com deficiência, idosa, obesa, cardíaco, gestantes, anão, entre outras.



**Figura 05: Ilustração de exemplos de Pessoas com Deficiência ou Mobilidade Reduzida.**

**Fonte: Ministério das Cidades, 2005**

A pessoa com deficiência é um indivíduo que tem suas condições de mobilidade ou percepção, reduzidas, limitadas ou anuladas, no ambiente onde se encontra inserido. Assim, este alguém pode ter mitigada estas condições conforme o espaço lhe ofereça recursos para que a relação desta pessoa com o local aconteça de forma adequada (CAMBIAGHI, 2007).

### 2.3.2 Acessibilidade como inclusão social

A acessibilidade pode ser entendida como a possibilidade que um indivíduo tem de compreender e interagir com o espaço urbano, bem como de comunicar-se com outros cidadãos, tendo ou não limitações de mobilidade ou de percepção sensorial. Um espaço acessível implica em possuir acessibilidade às edificações, ao meio urbano, aos transportes, à comunicação e aos serviços, o que nos mostra que um espaço acessível é um direito de todos, pois, este deve ser vivenciado e utilizado por qualquer pessoa, sejam por pessoas que possuam ou não alguma dificuldade para se locomover.

Conforme Cambiaghi (2007) quando uma pessoa com deficiência se encontra inserida em um ambiente acessível, as suas atividades são preservadas, e a deficiência passa a não afetar as suas funções. Ao contrário disto, ou seja, se o meio não é acessível, alguém sem qualquer deficiência se colocado em um ambiente hostil e inacessível pode ser considerado deficiente para aquele espaço.

Isso faz do ato de promover a acessibilidade uma garantia para o direito de ir e vir a toda população, com ênfase na autonomia e independência, incluindo as pessoas com deficiência ou mobilidade reduzida, proporcionando seu fortalecimento social. Transpor barreiras e se sentir capaz é um direito de todos os cidadãos. Atender as necessidades de estudo, trabalho e lazer significa garantir condições necessárias ao acesso a todos os locais, contribuindo de forma ativa no desenvolvimento da sociedade e derrubando discriminações existentes.

O grande avanço para a inclusão social, de pessoas com deficiência dentro da sociedade, teve seu início em dezembro de 1975, através da Declaração dos Direitos das Pessoas Deficientes, na Assembléia-Geral da ONU. Onde o termo *pessoa deficiente*, atualmente modificada para *pessoa com deficiência*<sup>6</sup>, foi definido para qualquer indivíduo que, por decorrência de “uma deficiência congênita ou não, em suas capacidades físicas ou mentais, estivesse impossibilitada de cumprir sem ajuda, total ou parcial, as exigências de uma vida individual e social normais” (CAMBIAGHI, 2007, p. 24).

O conceito de acessibilidade como interesse social deve ser entendido, valorizado e reivindicado por todos com o objetivo de melhorias na qualidade de vida. Todo indivíduo possui direitos, por exemplo, o acesso à moradia, à saúde, à educação, ao trabalho, ao

---

<sup>6</sup> Também pode ser utilizado o termo *pessoa com necessidades especiais*.

lazer. Para que estes possam ser exercidos, há a necessidade de se respeitar os princípios de independência, autonomia e dignidade, de forma coletiva e individual. Estes princípios devem contemplar a totalidade dos indivíduos que compõem a sociedade; entretanto, há uma parcela da população que sofre com a exclusão social causada, principalmente pela dificuldade de locomoção e movimentação pela cidade e demais ambientes de uso comum (MINISTÉRIOS DAS CIDADES, 2005).

Para a completa acessibilidade é necessário o estabelecimento e cumprimento de legislações, normas técnicas e planejamento, sem desconsiderar, contudo, a qualidade do desenho, da execução ou da manutenção dos equipamentos, das instalações ou do meio urbano. Contudo, compete ao poder público, em todas as esferas, promover e fiscalizar a implantação de novas obras considerando as condições de acessibilidade ao meio urbano (BRASIL, 2004).

No Brasil ainda não se tem estudos aprofundados para a quantificação das pessoas com deficiência ou mobilidade reduzida. Assim, conforme a OMS<sup>7</sup>, os países desenvolvidos têm 10% da sua população com algum tipo de deficiência. O censo norte-americano de 1995 apontou 20% da população americana com algum tipo de deficiência (CAMBIAGHI, 2007).

A inclusão social, portanto, é um processo amplo que contém a mudança de olhar o mundo, sobre as relações e os direitos; a inclusão trata da percepção interna de cada indivíduo. Fazendo com que a diversidade possa ser vista com valor. Isso a torna uma via de mão dupla, onde a sociedade e a pessoa com deficiência se modificam com o intuito de que todos possam conviver em condições de equiparação de oportunidades, para que haja uma integração, onde a pessoa com deficiência se torne apta para conviver com a pessoa sem deficiência (CAMBIAGHI, 2007).

### **2.3.3 Conceitos de Acessibilidade**

- **Acessibilidade ao meio físico**

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) define a acessibilidade como a “possibilidade e condição de alcance, percepção e entendimento para a utilização com

---

<sup>7</sup> Organização Mundial da Saúde, *Internacional Classification of Functioning, Disability and Health*. Genebra: OMS, 2001.

segurança e autonomia de edificações, espaço, mobiliário, equipamento urbano e elementos” (NBR 9050/2004, p.02).

- **Local acessível**

A NBR 9050/2004 (p. 02) define um local acessível como um “espaço, edificação, mobiliário urbano ou elemento que possa ser alcançado, acionado, utilizado e vivenciado por qualquer pessoa, inclusive aquelas com mobilidade reduzida”.

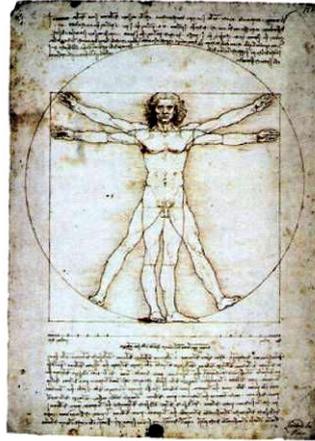
- **Barreiras físicas de acessibilidade**

A NBR 9050/2004 (p. 02) traz a barreira arquitetônica, urbanística ou ambiental como “qualquer elemento natural, instalado ou edificado que impeça a aproximação, transferência ou circulação no espaço, mobiliário ou equipamento urbano”.

#### **2.3.4 Desenho universal**

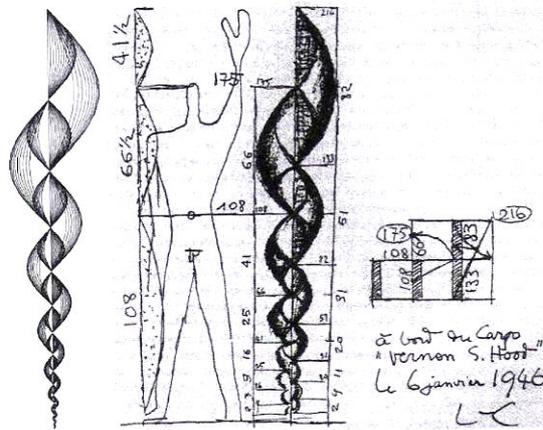
De forma abstrata, a escala humana é utilizada como forma de expressão na arquitetura realizada para o ser humano, devido a percepção humana do espaço. O Homem Vitruviano, estudado em 1490 por Leonardo Da Vinci (figura 06), retrata o início dos estudos destas relações de medidas do corpo humano para se projetar espaços que garantam que pessoas se sintam protegidas em um local, e possam circular pelo espaço com comodidade, sem que a escala dos edifícios produzam nos transeuntes a sensação de que estes se sintam insignificantes diante as construções, seja no interior destas ou em um passeio pela cidade (CAMBIAGHI, 2007).

Os estudos do arquiteto Le Corbusier se inserem nesta concepção. Este se dedicou ao desenvolvimento de uma medida universal para a arquitetura e criou, em 1948, o modutor (figura 07), um sistema de medidas baseado nas proporções de um indivíduo imaginário. Estas medidas humanas auxiliaram e auxiliam no dimensionamento dos espaços, no estudo da ergonomia e nas relações de proporção da arquitetura com o indivíduo (LE CORBUSIER, 2004).



**Figura 06: “O homem de Vitruvius”, desenho de Leonardo Da Vinci, c. 1490**

**Fonte: CAMBIAGHI, 2007.**



**Figura 07: Sistema modulator criado por Le Corbusier, 1948**

**Fonte: CAMBIAGHI, 2007.**

Em Washigton, no ano de 1963, foi criado o conceito de Desenho Universal, no início chamado de “Desenho Livre de Barreiras” devido ao seu enfoque voltado para eliminação de barreiras em projetos de edificações, áreas urbanas e equipamentos. Posteriormente evoluiu para Desenho Universal, e passou a considerar não apenas o projeto mais a diversidade humana, como uma maneira de respeitar as diferenças e garantir a acessibilidade a todos os componentes do ambiente (CPA/SEHAB<sup>8</sup>, 2002).

A expressão desenho universal ou *universal design* foi utilizada pela primeira vez nos Estados Unidos, pelo arquiteto Ron Mace, que articulou e influenciou a mudança de

---

<sup>8</sup> Comissão Permanente de Acessibilidade (CPA) / Secretaria da Habitação e Desenvolvimento Urbano (SEHAB).

paradigmas na arquitetura e no design. Para Mace, o desenho universal é o responsável pelo desenvolvimento de ambientes e produtos que “possam ser utilizados pelo maior número de pessoas possível” (CAMBIAGHI, 2007).

Conforme a NBR 9050/2004, o “desenho universal é aquele que visa atender à maior gama de variações possíveis das características antropométricas e sensoriais da população”. Assim, o Desenho Universal tem como seus princípios básicos: permitir que pessoas de diversos padrões (adultos, idosos, crianças, etc) ou em diferentes situações (em pé, sentados) possam interagir sem restrição com o ambiente projetado; reduzir o esforço para a utilização de produtos ou equipamentos em um ambiente.

Para Cambiaghi (2007), o desenho universal possui sete princípios e suas diretrizes podem ser aplicados para avaliar projetos existentes, orientar novos projetos voltados a arquitetura e ao design, e adotados como literatura para o ensino da arquitetura, do urbanismo e do design. São eles:

1. Equiparação nas possibilidades de uso: o desenho universal não é elaborado para grupos específicos de pessoas e sim, visa atender a todos os grupos;
2. Flexibilidade no uso: o desenho universal deve atender a uma ampla parcela de indivíduos, preferenciais e habilidades. Assim deve poder ser acessível e utilizado por destros e canhotos; facilitar a acuidade e a precisão do usuário; oferecer adaptabilidade ao ritmo do usuário;
3. Uso simples e intuitivo: o desenho universal tem o objetivo de tornar o uso facilmente compreendido;
4. Informação perceptível: o desenho universal tem o objetivo de comunicar eficazmente ao usuário suas informações necessárias, independente das condições ambientais ou de capacidade sensorial deste;
5. Tolerância ao erro: o desenho universal tem o objetivo de minimizar os riscos e conseqüências de ações acidentais;
6. Mínimo esforço físico: o desenho universal prevê a utilização de forma eficiente e confortável, com um mínimo de esforço;
7. Dimensionamento de espaços para acesso e uso de todos os usuários: o desenho universal tem o objetivo de oferecer espaços e dimensões apropriados ao uso, independentemente do tamanho ou da mobilidade do usuário.

### 2.3.5 Legislações e Normativas

O Brasil possui um conjunto favorável de leis e normas para a implantação de elementos na questão da acessibilidade. Estas normativas, elaboradas pela ABNT visam proporcionar à maior quantidade possível de pessoas, independentemente de idade, estatura ou limitação de mobilidade ou percepção, a utilização de maneira autônoma, independente e segura do ambiente, edificações, mobiliário, equipamentos urbanos e elementos.

A legislação Brasileira traz alguns decretos e normas para assegurar a acessibilidade. A seguir são apresentadas algumas destas normativas:

- **Decreto 5.296 de 02 de dezembro de 2004**

Regulamenta a Lei 10.048, de 8 de novembro de 2000, que dá prioridade de atendimento às pessoas que possuem necessidades especiais, e a Lei 10.098, de 19 de dezembro de 2000, estabelece normas gerais e critérios básicos para a promoção da acessibilidade das pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida, e dá outras providências.

- **Lei de Acessibilidade**

Lei 10.098, 19/12/2000: Estabelece normas gerais e critérios básicos para a promoção da acessibilidade das pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida, e dá outras providências.

- **Decreto 3.298, 20/12/1999**

Regulamenta a Lei no 7.853, de 24 de outubro de 1989, dispõe sobre a Política Nacional para a Integração da Pessoa Portadora de Deficiência, consolida as normas de proteção, e dá outras providências.

- **NBR 9050:1994/2004**

Acessibilidade de pessoas portadoras de deficiência a edificações, espaço, mobiliário e equipamentos urbanos.

### 2.3.6 Princípios básicos para uma arquitetura inclusiva

Para se obter ambientes e produtos adaptados à capacidade e às necessidades de todos os usuários em potencial, devem ser adotados, durante o processo de elaboração de projeto ou produto, critérios que sejam norteadores. Assim, o arquiteto, urbanista ou designer não devem se basear em si mesmos como usuários em potencial para os espaços que estão desenvolvendo (CAMBIAGHI, 2007).

Buscando a ABNT NBR 9050/2004, dentre outros manuais de acessibilidade (organizados e editados por cidades como São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, etc), tem-se a seguir uma relação de critérios, dentre muitos outros, que podem ser adotados para a criação de ambientes e produtos acessíveis a toda a população (CAMBIAGUI, 2007):

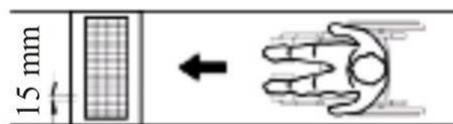
- Os pisos devem possuir superfícies regulares, estáveis, contínuas e antiderrapantes sob quaisquer condições climáticas;
- Idosos sentem dificuldades ao caminhar em pisos desenhados, com contraste muito grande entre claro e escuro, reflexivos, muito lisos ou muito irregulares, com espelhos d'água, etc (CAMBIAGHI, 2007).
- Deve-se evitar contraste de cores (estampas) nos pisos para que não venham causar impressão de insegurança (tridimensionalidade);
- Faz-se necessário a utilização de pisos antiderrapantes (CAMBIAGHI, 2007).
- Desníveis devem ser evitados em qualquer tipo de rotas/espços acessíveis. Desníveis de até 5 mm não necessitam de tratamento especial. Desníveis acima de 5 mm até 15 mm devem ser tratados com rampa, de inclinação máxima de 1:2 (50%) (figura 01) desníveis acima de 15 mm devem ser considerados como degraus, portanto devem possuir sinalização como escadas (NBR 9050/2004, figura 56);



**Figura 8: Tratamento de desníveis**

**Fonte: NBR 9050/2004, pág. 39**

- Grelhas e juntas de dilatação devem estar preferencialmente fora do fluxo principal de circulação quando instaladas transversalmente em rotas acessíveis, os vãos resultantes devem ter, no sentido transversal ao movimento, dimensão máxima de 15 mm (NBR 9050/2004, figura 57);



**Figura 9: Dimensão de grelha**

**Fonte: NBR 9050/2004, pág. 40**

A totalidade da acessibilidade somente será atingida quando a maioria das pessoas deixarem de pensar que os “detalhes” nas construções e nos passeios públicos não são importantes. Realmente para muitos esses “detalhes” de rampas, degraus, passeios degradados não são a principal dificuldade de se transitar pelo perímetro urbano de qualquer cidade. Mas, para uma parcela da população esses “detalhes” são extremamente importantes e essenciais, se transformando em impedimento para o trânsito livre, sem barreiras, com a autonomia necessária, sem que precise de auxílio para locomoção e principalmente acesso aos locais que desejam.

## **2.4 CONFORTO TÉRMICO E LUMINOSO**

Nas cidades a pavimentação surgiu para facilitar os percursos, transformando-os em caminhos rápidos durante as estações do ano. O revestimento dos passeios públicos, no geral, é elaborado conforme conceitos tecnológicos, estéticos, econômicos e, nos dias atuais, ecológicos. Preocupa-se com a impermeabilidade do solo na malha urbana, com o material do pavimento, sem esquecer-se dos indicadores de conforto ambiental inerentes a tais revestimentos. Assim, este tema estuda a influência da tipologia da pavimentação para com o clima urbano, pois com os atuais cenários de aquecimento global sendo confirmados ano a ano, qualquer ajuda para mitigar as ações do homem no ecossistema urbano se torna necessária e manifesta.

### **2.4.1 Conforto Térmico: Pavimentação e Clima Urbano**

“Conforto térmico é um estado de espírito que reflete a satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa. Se o balanço de todas as trocas de calor a que está submetido o corpo for nulo e a temperatura da pele e suor estiverem dentro de certos limites, pode-se dizer que o homem sente conforto térmico”.

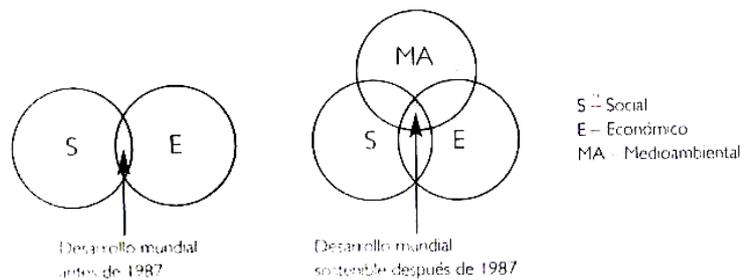
(ASHRAE, 1993, apud LABERTS, 1997, p. 41)

A ecologia da paisagem surge nas últimas décadas, como uma tentativa de traduzir os princípios ecológicos para a escala prática dos planejadores e arquitetos paisagistas, somando diversos conhecimentos para entender a estrutura, função e mudanças das paisagens como uma das partes integrantes de ecossistemas (PELLEGRINO, 1995).

O uso da paisagem urbana de forma racional e sustentada abrange todos os aspectos que possam condicionar a conservação dos recursos, com o intuito de não comprometer o meio e atender as necessidades das futuras gerações. Assim, este planejamento ecológico da paisagem busca a criação de uma solução espacial capaz de manusear as mudanças dos elementos da paisagem, para que as intervenções humanas passem a ser compatibilizadas

com a capacidade dos ecossistemas de absorver seus impactos, mantendo a integridade dos processos e ciclos vitais (PELLEGRINO, 1995).

O Desenvolvimento Sustentável passou a ser difundido e estudado, em 1987, com a Comissão de Brundtland que o definiu como “aquele que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazer as suas próprias necessidades”. Esta definição possui três conceitos importantes, que se refere ao alcance do desenvolvimento sustentável em três dimensões: o meio ambiente sustentável, economia e sociedade (EDWARDS, 2004, p.07).



**Figura 10: Desenvolvimento sustentável**

**Fonte: Edwards, 2004.**

Desta maneira, o questionamento central aqui fixa sua atenção na determinação da influência que a tipologia da pavimentação urbana pode gerar para o clima urbano, influenciando de algum modo o microclima regional.

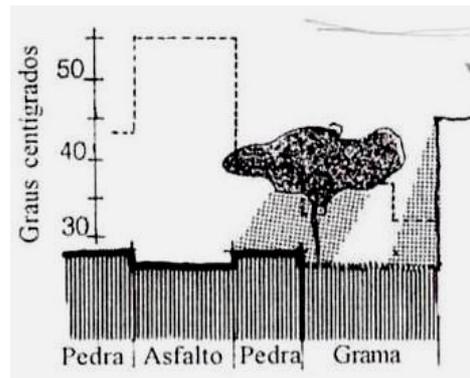
Esta é uma realidade observada não somente nas grandes e médias cidades brasileiras, mas em espaços urbanos de todas as partes do mundo. A escolha correta pela tipologia da pavimentação pode auxiliar na melhoria da qualidade de vida e no desenvolvimento sustentável, por buscar melhoras na drenagem urbana, diminuindo a umidade local e, conseqüentemente amenizar o microclima regional dentro do perímetro urbano proporcionando a sensação de conforto térmico<sup>9</sup>.

Conforme Monteiro (1976), o clima urbano pode ser entendido como um sistema que reuni o clima de um espaço concreto e tridimensional que instantânea e ininterruptamente incorpora e desprende energia de natureza térmica. O homem é o grande articulador da

<sup>9</sup> É importante ressaltar que somente a drenagem das águas pluviais não soluciona o problema o conforto térmico das cidades, esta apenas o ameniza. Pois, outros fatores como a vegetação, o revestimento das construções, o número de construções e seus recuos, a circulação de pedestres e veículos, dentro outros, também influem no comportamento da temperatura nos recintos urbanos.

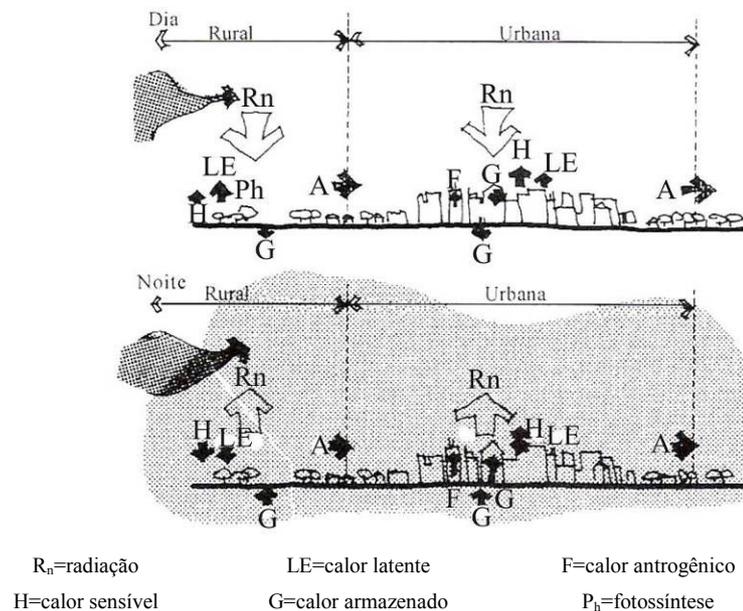
modificação deste espaço e assim, tem grande influência na estrutura do sistema urbano, construindo um sistema que desenvolve problemas, mas também possui valores.

Para Romero (2001) dentro do sistema urbano é importante destacar a energia que penetra, dirigida diretamente à cidade, conforme os efeitos que a atmosfera da cidade produz entre o Sol e a superfície construída. Essa relação exerce efeitos decisivos de reflexão, absorção e armazenamento térmico como efeitos de atrito na ventilação, entre outros (figuras 11 e 12).



**Figura 11: Comparação da radiação solar incidente transformada em calor, conforme o revestimento do solo.**

**Fonte: Romero, 2001.**



**Figura 12: Trocas de calor nas áreas urbanas e rural**

**Fonte: Romero, 2001**

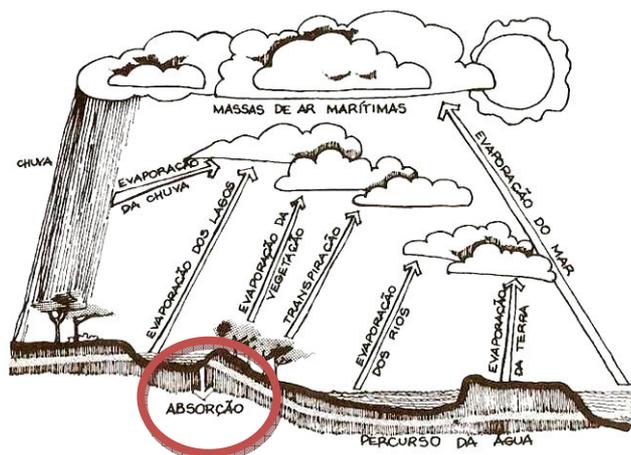
Para Romero (2000), a análise de uma superfície pode ser realizada partindo de dois aspectos importantes, são eles o solo natural e o solo construído. Esta análise resultará no potencial hídrico, as quantidades de areias e cascalhos para drenagens, infiltrações,

erosões, capacidade térmicas, informações necessárias, para determinar os índices de reflexão ou absorção da superfície do solo. Para uma classificação esquemática pode-se encontrar tais condições:

- Argila: expansível, pesada, pegajosa quando úmida, tem pouca resistência a penetração e possui boa capacidade térmica;
- Areia: granulada, pesada, boa resistência a penetração, boa capacidade térmica;
- Cascalho: duro, pesado, solto, boa resistência e capacidade térmica excelente.

Algumas das influências básicas, que diferem a área rural da área urbana, estão ligadas: ao uso de materiais que transformam artificialmente a superfície da terra, pois as capacidades térmicas dos materiais usados na cidade são melhores condutores. “A infra-estrutura de drenagem elimina rapidamente a água da chuva, o que impede a penetração desta água no solo ... , torna a evaporação urbana menor que a das áreas rurais” (ROMERO, 2001, p.49).

A permeabilidade possibilitada pela tipologia da pavimentação soluciona ou melhora a problemática do escoamento superficial, que por determinadas questões, em muitas cidades ocorrem acúmulo de água em determinados pontos da área urbana, provocando enchentes periódicas. A permeabilidade do solo então pode minimizar a questão do acúmulo das águas, além de contribuir para o déficit de absorção para o lençol freático, como mostra a figura 13.



**Figura 13: Ciclo hidrológico terrestre**

**Fonte: Romero, 2000**

O microclima urbano é o resultado da soma dos microclimas em todos ou em cada espaço do perímetro urbano, seja de uso público ou privado, com edificações ou não, com

presença de vegetação ou não. Geralmente, são recintos urbanos protegidos do vento e apresentam suas próprias características de recinto climático (MONTEIRO, 1976).

O estudo dos recintos urbanos passa a ser interessante à medida que este possibilite a obtenção de um comportamento climático previsível. Isto é importante principalmente para a “planificação das cidades, no sentido do conhecimento da interação das formas edificadas e seus elementos em nível de controle ambiental urbano” (MASCARÓ, 2004, p.53).

Dentro do processo de urbanização a vegetação natural é substituída por construções e ruas pavimentadas, alterando o equilíbrio do microambiente. Estas alterações provocam distúrbios no ciclo térmico diário, devido às diferenças existentes entre a radiação solar recebida pela superfície construída, e a capacidade dos materiais das construções de armazenar calor. Assim, o tecido urbano absorve calor durante o dia e o reirradia durante a noite, podendo também ser somado a este, o calor produzido pelas máquinas e homens concentrados em pequenos espaços da superfície terrestre (ROMERO, 2000).

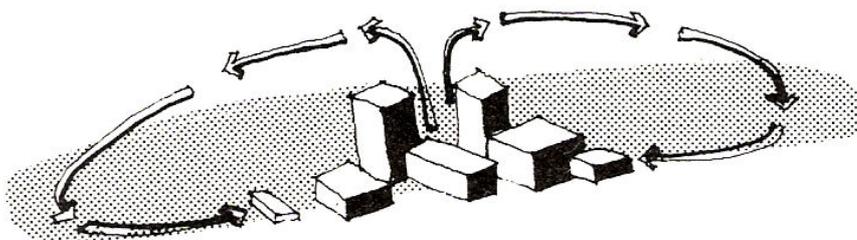
Para Detwler (1974, apud ROMERO, 2000), as alterações climáticas decorrentes do processo de urbanização são três:

1. mudança da superfície da terra, devido as densas construções e a pavimentação, tornando a superfície impermeável, aumentando a sua capacidade térmica e rugosidade e, alterando o movimento do ar;
2. aumento da capacidade de armazenar calor com a diminuição do albedo<sup>10</sup>;
3. emissão de contaminantes, aumentando as precipitações e modificando a transparência da atmosfera.

A percepção térmica humana está ligada em especial à temperatura, radiação, umidade e movimento do ar. Assim, a junção destas três alterações com o fluxo de material de energia, produz um balanço térmico especial nos centros urbanos, chamado de domo urbano (figura 14). Este domo possui uma circulação de ar típica, como se a cidade parecesse uma ilha quente rodeada por um entorno mais frio, efeito este conhecido como “ilhas de calor” (ROMERO, 2000).

---

<sup>10</sup> Albedo é o poder difusor de uma superfície, ou seja, é a “proporção entre a luz do sol recebida e refletida por uma superfície” (ROMERO, 2000, p.34).



**Figura 14: Domo urbano de poeira**

**Fonte: Romero, 2000**

O indivíduo pode entender o conforto térmico, quando ele não tem vontade de mudar sua interação térmica com o meio, sendo esta uma definição restrita ligada à comodidade, que não sinta vontade de procurar uma mudança. A idéia de conforto térmico não só é necessária, mas também passa a ser um motivo de prazer, afeto e referência simbólica na arquitetura. As qualidades térmicas podem ser consideradas parte da experiência do homem em um espaço; influenciando a sua sensação e o que se escolhe para fazer nele (SCHMID, 2005).

Os principais elementos que “afetam a percepção da temperatura pelo corpo humano são: a temperatura do ar, a radiação solar, o movimento do ar e a umidade. Os valores da temperatura efetiva<sup>11</sup> estão ajustados aos índices de temperatura da pele”. “A zona de conforto<sup>12</sup> desejada tem umidade relativa entre 30% e 65%” (OLGYAY, 2002, p. 16 e 19).

---

<sup>11</sup> **Temperatura efetiva (ET):** Para Monteiro e Alucci (2007), a temperatura efetiva é determinada mediante a combinação da temperatura de bulbo seco e bulbo úmido e da velocidade do vento. Estudos citados por Givoni (1969, apud Monteiro e Alucci, 2007) demonstram que a temperatura efetiva superestima o efeito da umidade.

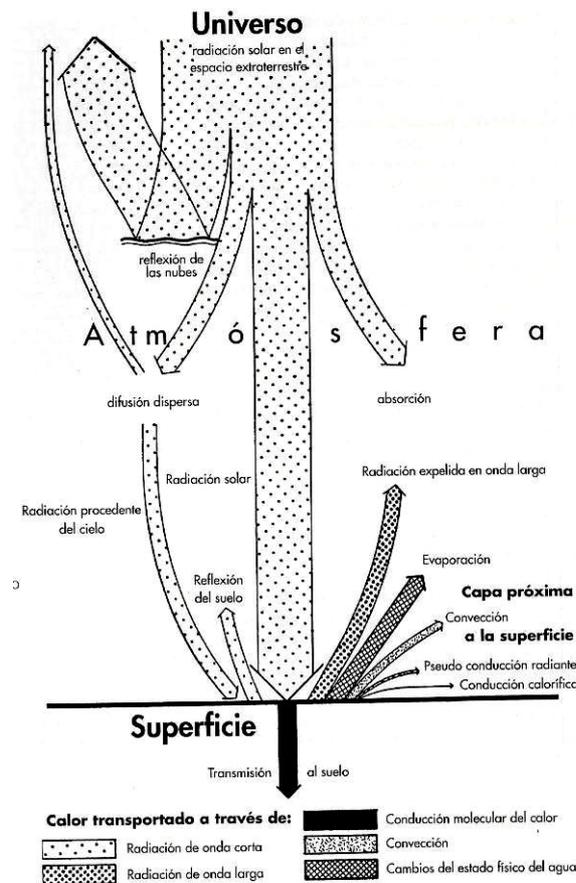
**Nova Temperatura efetiva (ET\*):** Vernon e Warner (1932, apud Monteiro e Alucci, 2007), propõem a nova temperatura efetiva com a substituição da temperatura de bulbo seco pela temperatura de globo, a fim de considerar os efeitos da radiação, adotado por ASHRAE, em 1967, como Temperatura Efetiva Corrigida.

**Nova temperatura efetiva padrão (SET\*):** Conforme Gagge (1967, apud Monteiro e Alucci, 2007, p.46) a nova determinação para a temperatura efetiva padrão, podendo ser definida como a temperatura equivalente à temperatura do ar em um ambiente de referência, onde o “indivíduo apresenta a mesma temperatura da pele e a mesma fração de pele coberta por suor regulatório que no ambiente em questão”.

**Temperatura efetiva padrão externa (OUT-SET\*):** Para Pickup e Dear (1999, apud Monteiro e Alucci, 2007, p.49), a temperatura efetiva padrão externa se dá a partir do modelo de temperatura efetiva padrão de Gagge (1967), “adaptando-o mediante a consideração detalhada das trocas radiativas com o meio externo

O que se sabe a respeito da umidade relativa é que a comodidade térmica em locais com alta umidade se torna mais difícil de ser alcançada. Em locais de umidade relativa baixa, o ar se torna seco, ressecando as mucosas nasais e dificultando a respiração, tornando o local não confortável (SERRA, 2002).

A radiação solar que incide sobre uma superfície horizontal em um dia de calor é aproximadamente o dobro da que incide em uma superfície vertical. Assim, os planos horizontais (ver figura 15) que circulam as construções refletem uma importante quantidade de calor se comparada a que incide sobre elas (OLGYAY, 2002).



**Figura 15: Troca de calor**

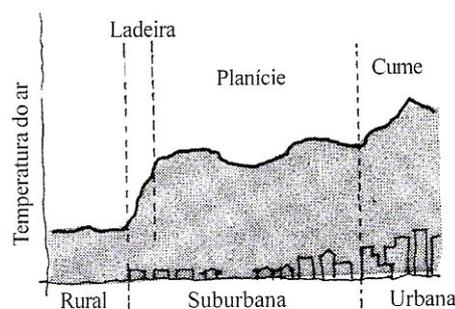
Fonte: Olgay, 2002

através de um modelo específico (OUR-MRT), que fornece um valor equivalente de temperatura radiante média a ser utilizado”.

<sup>12</sup> “O diagrama de conforto térmico desenvolvido por Victor Olgay desde 1952, ... chamado de Carta Bioclimática (Bioclimatic Chart), ... combina temperatura do ar e umidade, definindo zonas de conforto com base em estudos biometeorológicos ..., mostrando como estas zonas podem se modificar na presença de ventilação e da radiação solar ou outra fonte térmica (ROMERO, 2000, p.51).

Para Romero (2001, p.89), a temperatura do ar em uma determinada área urbana densa é mais alta que a dos arredores rurais, fenômeno este chamado de ilha de calor. Durante o dia a diferença entre o centro e os arredores atinge de 1°C a 2°C. “A altura da ilha de calor é bem mais limitada, ultrapassando de três a cinco vezes a média da altura dos edifícios e coincidindo aproximadamente com o domo do ar urbano” (figura 16). Existem cinco diferentes e independentes fatores que contribuem para o desenvolvimento da ilha de calor. São eles:

1. diferenças da radiação entre a área urbana e as imediações; em particular, a baixa taxa de esfriamento radiante durante as noites;
2. a estocagem de energia solar na massa dos edifícios durante o dia e a cedida à noite;
3. concentração da geração de calor pelas atividades da área urbana;
4. baixa evaporação desde o solo a vegetação na área urbana construída, quando comparada com a área rural aberta;
5. fontes de calor estacionais: calefação no inverno e ar condicionado no verão; tudo é cedido ao meio urbano.



**Figura 16: Altura de Ilhas de Calor**

**Fonte: Romero, 2001**

Uma das alternativas de controlar a radiação em um meio densamente ocupado pode vir do uso de materiais e cores pouco reflexivas, além da utilização de vegetação. Quanto ao revestimento do solo, a vegetação pode substituir quanto possível o pavimento (ROMERO, 2000). Em muitas áreas urbanas, principalmente na área central urbana, o pavimento está, cada vez mais, sendo aplicado para atender a função do trânsito de pedestres e veículos.

Algumas vezes, o poder público transforma as vias urbanas em uma espécie de mostruário de pavimentos, quando na verdade a combinação dos materiais deve oferecer facilidade no

percurso e não superfícies desiguais e de distintas durezas. Se juntar “as associações pouco aprazíveis produzidas pela composição não funcional dos materiais o uso de materiais que aumentam as sensações térmicas nos lugares onde isso é indesejável, ter-se-á composto um panorama de desacertos” (ROMERO, 2001, p.97).

O tratamento dos pavimentos nos espaços urbanos deve ter como partido a qualidade da superfície dos materiais constituintes. Ao reproduzir os esquemas compostos na Expo'92 de Sevilha, denomina-se de esquemas A, B, C, assim como os materiais recomendados. A seguir mostra-se um dos exemplos escassos sobre o tema (ROMERO, 2001):

- A) Zonas de sombra durante o dia e abertas a noite: características recomendadas ao pavimento: alta emissividade de onda longa<sup>13</sup>, alta capacidade térmica, albedo médio. Materiais recomendados: concreto, cerâmica, brita e pedra.
- B) Zonas de sombra durante o dia e cobertas durante a noite: pavimentos refrigerados, porosidade, albedo médio, alta capacidade térmica combinada com refrigeração noturna. Materiais recomendados: peças pré-fabricadas de materiais porosos com circulação de água no interior, concreto, pedra, cerâmica, brita.
- C) Zonas abertas: as características recomendadas são de alta capacidade térmica, alta emissividade de onda longa, baixa absorção de onda curta<sup>14</sup>, albedo médio, superfícies porosas. Materiais recomendados: superfícies pesadas, cores médias, concreto, pedra, terreno vegetal (figura 17).

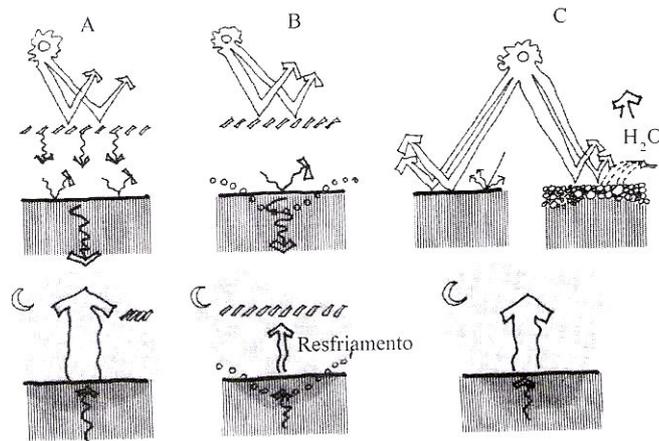
Conforme Romero (2000) é possível implantar uma tipologia de pavimento para as ruas com baixo índice de absorção da radiação, lembrando que o asfalto possui um dos maiores índices de absorção, irradiando o calor armazenado para o ambiente em que está inserido.

A temperatura sobre uma superfície de grama em dias de sol, fica reduzida entre 5 e 7°C se comparada ao piso construído. Dessa forma, as superfícies gramadas poderiam substituir as pavimentadas, ou então, estar intercaladas (forma mais adequada) a elas para reduzir a radiação solar e a reflexão sobre as superfícies construídas (ROMERO, 2000, figura 18).

---

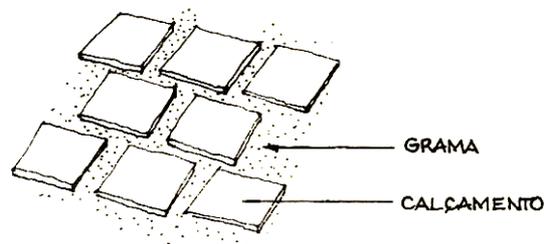
<sup>13</sup> Radiação de onda longa, proveniente do aquecimento e irradiação dos materiais.

<sup>14</sup> Radiação de onda curta, proveniente da radiação solar.



**Figura 17: Características térmicas dos materiais da pavimentação**

**Fonte: Romero, 2001**

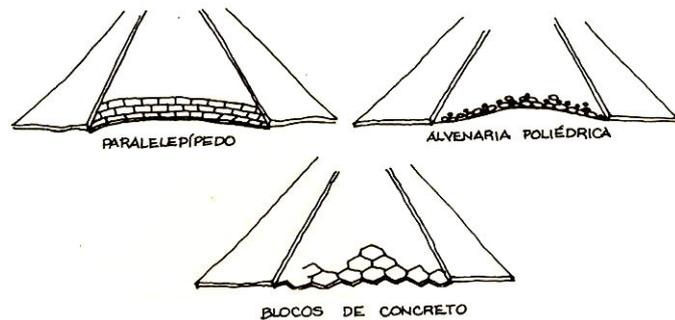


**Figura 18: Calçamento entremeadado de grama**

**Fonte: Romero, 2000**

Os pavimentos tipo broquetes também podem ser assentados de forma que os espaços possam ser preenchidos com grama. Já o pavimento tipo intertravado, considerado permeável, auxilia na diminuição da radiação solar, em função do albedo, pela percolação da água que diminui a umidade relativa ambiente e influi na temperatura local. As formas de pavimentação do solo, mostradas na figura 19, possuem a vantagem de não contribuir com o aquecimento do ambiente, além de auxiliar eficazmente na drenagem e acelerar o escoamento das águas pluviais (ROMERO, 2000).

A importância da permeabilidade do solo dentro do perímetro urbano se volta à sustentabilidade, pela minimização da formação de ilhas de calor e inundações periódicas. Essas inundações podem ser mitigadas com aplicações de recursos paisagísticos como o revestimento do solo com materiais porosos ou entremeadado com grama, aumentando a sua capacidade de absorção.



**Figura 19: Formas de calçamento**

**Fonte: Romero, 2000**

Segundo Edwards (2004), podemos compreender que as melhorias para a preservação dos recursos hídricos voltados às engenharias e arquitetura, podem e devem trabalhar com a utilização de pavimentos permeáveis que permitam a sobrevivência dos aquíferos; que busquem um desenho paisagístico que permita a infiltração da água da chuva; e a retenção da água pluvial em áreas permeáveis de captação e sua detenção para uso posterior e conseqüentemente prevenir enchentes.

A evaporação d'água na área urbana é menor que a das áreas rurais, fato que gera o aumento da temperatura das cidades (ROMERO, 2001). Conforme Mascaró (2004), a absorção da água pelo solo diminui a umidade local, faz a temperatura do ambiente também diminuir, principalmente em regiões de clima quente-úmido. Demonstrando que a cidade diante das diferentes formas de uso do solo e morfologia urbana, exerce efeitos decisivos de reflexão, absorção e armazenamento térmico nos seus espaços.

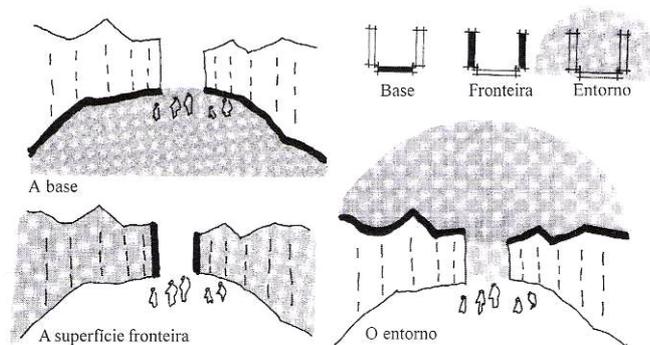
No perímetro urbano, a formação da ilha de calor, é atribuída não somente à produção de calor pelas atividades dos seres humanos, mas também pela abundância de materiais, como o asfalto, construções e veículos automotores, fatores provenientes da urbanização, que contrastam com o terreno natural. Estes fatores auxiliam no aumento da temperatura ambiental durante o dia, e na redução do resfriamento que normalmente ocorre durante a noite (HERTZ, 1998).

O ar é um mau condutor térmico, de modo que um solo pouco úmido se esquentava mais depressa durante o dia, porém à noite devolverá rapidamente o calor armazenado, provocando uma grande amplitude térmica diária. A capacidade do ar para conter vapor d'água aumenta com a temperatura (ROMERO, 2001). Este fato é bastante significativo nas modificações climáticas sentidas nas áreas urbanizadas, uma vez que os tipos de pavimentação e seus materiais somados às edificações alteram as condições de porosidade

e, conseqüente drenagem do solo, acarretando alterações na umidade e pluviosidade local (FROTA, 2001).

Os revestimentos do solo interferem nas condições climáticas dos locais, pois quanto maior for à umidade do solo, aliada à cor do pavimento há uma maior contribuição para a condutibilidade térmica.

Para Romero (2001) as duas grandes categorias temáticas apreciadas no tratamento dos espaços públicos voltados a concepção bioclimática são o *ambiente e o espaço*. Dentro destas duas macros categorias podemos incluir as categorias *entorno, base e a superfície fronteira*. Focando na categoria base, esta corresponde ao espaço sobre o qual a cidade se assenta (figura 20). E os seus elementos são coberturas, pavimentos, vegetação, mobiliário urbano e água.



**Figura 20: O entorno, a base e a superfície de fronteira**

**Fonte: Romero, 2001**

A utilização dos espaços públicos, hoje é mais limitada do que em outras épocas. Entre os usos mais freqüentes, destes locais, aparecem o sentar, parar, caminhar, comer, ler, escutar e reunir-se (SCHIMID, 2005). Assim, os espaços públicos exteriores se configuram a partir de suas formas, relevos e características, sendo elementos essenciais à paisagem urbana, conformando espaços de vida, e permitindo ao homem a percepção da cidade.

#### **2.4.2 Conforto Luminoso**

Para Romero (2001), ao considerar a luz o elemento ambiental maior, os fenômenos mais importantes são: o fluxo luminoso (quantidade de energia por unidade de tempo); a luminância, a emissão, a fluorescência e o ofuscamento.

A luminosidade é a concentração do fluxo luminoso incidente em uma superfície, e pode também ser chamada de nível de iluminação. A luminância, ou brilho, é a intensidade por

unidade de superfície aparente, ou seja, é a medida fotométrica de claridade da superfície opaca iluminada. A absorção é a razão do fluxo absorvido e do fluxo incidente, quando uma superfície não é opaca (translúcida ou transparente) algo do fluxo incidente é transmitido através do material. A intensidade luminosa é a quantidade de fluxo luminoso numa dada direção (ROMERO, 2001).

A luminância é um fator relevante, considerando o fenômeno de ofuscamento. A luz, durante o dia, em espaços públicos pode provocar o ofuscamento (um material de luminância muito alta ao lado de outros de baixa luminância), principalmente onde no meio da malha urbana se encontra inserido um vazio (ROMERO, 2001).

A pavimentação em tons claros, tendem a aumentar a iluminância geral pelo fenômeno da refletância, o resultado é agradável. Porém, tons muito claros também podem causar ofuscamento dependendo da quantidade de luz que incide sobre a superfície (MASCARÓ, 2004).

Conforme Romero (2001), ao se caracterizar a luz no espaço público, pode se identificar os fatores que geram o ofuscamento, e estes freqüentemente aparecem em locais privados como: brilho das fontes ofuscantes; tamanho das fontes luminosas; nível de adaptação; brilho do entorno imediato das fontes; posição relativa em relação à direção visual.

A reflexão da luz depende da quantidade de luz, determinando a cor. A textura de uma superfície também afeta a direção da reflexão da luz e o seu alcance, partindo de materiais que refletem a luz uniformemente até materiais que refletem em uma só direção. As superfícies brilhantes funcionam como um espelho, refletindo a luz como a fonte original (ROMERO, 2001).

A cor é um atributo da luz e não dos objetos, sendo dependente da quantidade de luz que incide sobre eles. Somente tem cor própria às fontes de luz como o Sol, as estrelas, o fogo, a lâmpada ligada, entre outros. Assim, conforme a iluminação que um corpo recebe e o fundo no qual este está inserido, teremos uma sensação da diferença de cores (ROMERO, 2001).

Saber das características dos materiais da superfície se faz importante para conhecer o poder difusor da mesma, denominado albedo, ou seja, a proporção dentre a luz do sol recebida e a refletida por uma determinada superfície. Se o solo possui um baixo albedo e uma alta condutibilidade, o microclima resultante é suave e estável, uma vez que o excesso

de calor absorvido é armazenado rapidamente e, ao diminuir a temperatura, este é rapidamente devolvido ao meio (ROMERO, 2000).

Os materiais com albedo alto e condutibilidade baixa contribuem para criar um microclima de extremos, pois não auxiliam no equilíbrio dos contrastes. O mar, os vales e os solos úmidos, no geral, possuem a tendência de equilibrar as temperaturas, já a areia, a neve ou os pavimentos não atuam do mesmo modo, sendo assim, quentes durante o dia e frios durante a noite. A drenagem do solo aumenta o albedo e diminui a condutibilidade, deixando o clima do local instável, ao mesmo tempo em que reduz a umidade, fazendo com que o efeito refrescante produzido pela evaporação se perca (ROMERO, 2000).

Os albedos dos materiais (ver tabela 01) mais utilizados nas construções do meio urbano costumam ser menores que os das superfícies rurais. Para os albedos das superfícies a sua composição e distribuição geométrica fazem com que os albedos urbanos médios sejam 0,15<sup>15</sup> mais baixos que os da maioria das paisagens rurais, excluindo os bosques e as áreas de solo escuro (ROMERO, 2001).

**Tabela 01: Albedo de Materiais da Construção**

Albedo	Valor
Asfalto	0,05 – 0,20
Concreto	0,10 – 0,35
Tijolo	0,20 – 0,40
Pedra	0,20 – 0,35
Brita	0,08 – 0,18

**Fonte: MORENO, 1993 (apud, ROMERO, 2001, adaptado)**

O conteúdo dos parágrafos acima demonstra a preocupação ligada ao conforto ambiental urbano. Preocupação esta que pode ser minimizada através da coloração que a pavimentação recebe, pois cores escuras possuem maior capacidade de absorver calor, causando ao transeunte a sensação de desconforto térmico. Assim, a coloração contribui para a absorção do calor, proporcionando um microclima mais quente, como o que ocorre, por exemplo, com os pavimentos escuros que absorvem mais radiação solar, ao contrário dos mais claros que refletem a radiação solar.

---

<sup>15</sup> O albedo é a razão entre o fluxo de luz solar recebido e refletido, a sua unidade de medida então pode ser expressa de 0 a 1, ou em porcentagem.

## 2.5 CONFORTO ACÚSTICO URBANO

O ruído pode não ser o maior dos problemas urbanos, apesar do congestionamento de veículos e aviões, mas suas queixas têm sido registradas desde os tempos antigos. Na Roma imperial, os habitantes encontravam espaços de descanso, tranqüilidade e beleza, nos parques e praças. Já nas ruas reinava uma enérgica animação e gritaria infernal. O cair da noite, não era sinal de tranqüilidade, pois as carruagens podiam trafegar legalmente pela cidade. Assim, o trânsito noturno condenava os romanos a uma insônia permanente (TUAN, 2005).

A cidade medieval era inundada pelo som dos sinos e o barulho da agitação das pessoas. Os sinos soavam quase incessantemente, anunciando o começo e o fim do dia. Os gritos humanos preenchiam o ar, eram os pregoeiros que anunciavam quando os banhos estavam prontos, vendas de mercadorias, mortes e notícias (TUAN, 2005).

No decorrer do século XVIII, o aumento rápido do trânsito sobre rodas foi a nova fonte de barulho ensurdecedor nas cidades. Na América colonial, os viajantes se impressionavam com a diferença de tranqüilidade entre o campo e a cidade. A Filadélfia, por exemplo, era conhecida pelo grande número de carruagens e pela confusão no trânsito. Londres, em 1771, possuía mil carruagens, veículos pesados para trafegar sobre o calçamento de pedras, onde o barulho gerado podia ser ouvido até de dentro dos parques Regent ou Hyde (TUAN, 2005).

No Brasil o crescimento urbano foi acelerado no último século, decorrentes deste processo as cidades desenvolveram problemas, como o ruído de tráfego, presente principalmente nas médias e grandes cidades. Esta poluição sonora é originária de um ruído excessivo, ou seja, um som indesejado que provoca efeitos negativos no ser humano.

A poluição sonora se agrava à medida que crescem as cidades, o volume de tráfego e a densidade da malha urbana, passando a interferir no corpo humano de forma predatória, atacando não só a audição, como órgãos, aparelhos e funções do organismo (SANTOS, 1994), reduzindo a qualidade de vida dos habitantes.

Nos centros urbanos o ruído se faz presente com maior intensidade, geralmente agravada pela junção de uma malha urbana não adequada com as construções, alocadas às margens das vias públicas. As edificações, em geral, não auxiliam na redução sonora tanto no exterior, como no interior das habitações. Cálculos de isolamentos acústicos comprovam

que fachadas de alvenaria e janelas de vidro simples isolam em torno de 15 dB(A), com as janelas fechadas e 5 dB(A), com as janelas abertas (NUNES, 2004).

Os anos 70 foram os precursores das preocupações com a acústica voltada para as ruas. Com isto, percebeu-se que existem aumentos de ruídos em locais em que o tráfego exige que veículos aumentem ou reduzam a velocidade, ou seja, nos semáforos em aclives e em cruzamentos, tornando importante conhecer os impactos que esse desconforto pode gerar para o perímetro urbano (NUNES, 2004).

Assim, nesse tópico preocupou-se em conhecer quais são os impactos oriundos do ruído urbano para os moradores e transeuntes das cidades, e os materiais que podem e devem ser aplicados para que haja a minimização no impacto do ruído, buscando a melhoria da qualidade de vida dos habitantes do perímetro urbano.

### 2.5.1 Som versus Ruído

Conforme Bistafa (2006), o som pode ser considerado uma sensação produzida pelo sistema auditivo. Já o ruído é um som sem harmonia, ou um som indesejável. O autor coloca que os sons são vibrações de moléculas de ar propagadas por uma estrutura vibrante, e o compara com um violino, que através de suas cordas produz um som, porém se prendermos uma extremidade da corda do violino e a movimentarmos para baixo e para cima, esta não produzirá som algum. Quando as cordas são instaladas de forma adequada, mas tocadas por algum iniciante na música, este não produzirá um som harmonioso como um violinista produziria. Assim, pode-se dizer que o iniciante gerará um ruído, o que o define como um som indesejado.

Voltando a diferença entre o som e o ruído para o nosso dia-a-dia, podemos comparar uma boa música, conforme o gosto pessoal de cada indivíduo, como um som, e o barulho produzido por um mosquito, como um ruído (figura 21).



**Figura 21:** Um cidadão contente ouvindo música e um mosquito, respectivamente.

**Fonte:** ACERVO AUTOR

Uma das particularidades do ouvido humano é que ele possui maior tolerância para os sons graves em comparação aos sons agudos, que incomodam mais. “Para as mesmas intensidades que os sons graves, os sons agudos são menos tolerados”. Os homens, no geral, possuem voz grave e as mulheres voz aguda. Característica que sugere a predominância de narradores no sexo masculino, tanto no rádio como na televisão (SCHMID, 2005, p.251).

Não podemos esquecer que alguns sons, para muitos, podem estar na classificação de ruído, porém estes transmitem informações úteis. Como o apito da chaleira, o barulho da cafeteira, o som do acendedor do fogão, o barulho da máquina de lavar, do motor do carro, indicando algum dano ou simplesmente, sendo um aviso de que estão funcionando (SCHMID, 2005). Além dos equipamentos domésticos, existem sons de alerta no meio urbano, como o caso do semáforo sonoro, que transmite aos cegos e pessoas com baixa visão a informação de que ele pode ou não atravessar a rua ou avenida com segurança.

A total eliminação do ruído acaba não sendo o foco de muitas intervenções acústicas, por ter um elevado custo de solução. Assim, o foco se prende no controle ou minimização do ruído. Um ruído é passível de ser utilizado no combate a outro mais perturbador, com a técnica do mascaramento sonoro. Nesta técnica o ruído de baixa frequência é utilizado em escritórios, por exemplo, no mascaramento de outro som, tornando o som menos perturbador (BISTAFA, 2006).

Conforme Bistafa (2006, p.06), após alguns minutos em um ambiente silencioso, também pode ser perturbador, pois a audição se tornará mais sensível a ponto de identificar os ruídos da corrente sanguínea, os batimentos do coração. Escutar os batimentos cardíacos pode ser perturbador, pelo fato de que o coração não bate com uma perfeita regularidade. “Porém o principal fator que torna sem sentido a completa eliminação do ruído é que, com frequência, se sobrepõe ao ruído principal o ruído de fontes secundárias”. Este ruído é o chamado ruído de fundo, que geralmente não pode ser eliminado, tornando com sentido a eliminação do ruído principal até que este deixe de ser percebido acima do ruído de fundo.

Contudo, a audição se revela para o homem um dispositivo de sensibilidade. É um complemento da visão, pois sons que nos despertam o interesse são produzidos fora do campo de visão. “Geralmente, não vemos a campainha sendo tocada por um visitante: ouvimos; não vemos a tempestade começar: ouvimos; não vemos um acidente na calçada: ouvimos” (SCHMID, 2005, p. 255).

### 2.5.2 Males à saúde humana decorrentes do ruído

Dentre as manifestações de desordem, no meio físico da cidade, pode-se começar pelo ruído. O ruído no campo, não se configura como um problema, a menos que a pessoa viva perto de uma cachoeira ruidosa. Mesmo assim, as pessoas tendem a aceitar os ruídos que a natureza produz como os grilos, as ondas do mar, as gotas de chuva chegando ao chão, etc (TUAN, 2005).

Na cidade o ruído é encarado de outra forma. Aos recém chegados pode parecer mais uma desordem do que algo assustador. O ruído é um caos auditivo, pois a maioria das pessoas até pode tolerar ou superar um caos visual, mas não um caos auditivo, por que o som é capaz de afetar as emoções mais básicas, que a visão, não afeta. Com o passar do tempo, o indivíduo pode tolerar o ruído, porém este continuará a criar tensão e ansiedade, lembrando-nos do caos (TUAN, 2005).

Para Bistafa (2006), os ruídos geram efeitos indesejáveis ao organismo. Ruídos mais intensos podem causar surdez e aumento da pressão arterial (efeitos fisiológicos). Os ruídos mais prolongados causam incômodos, perturbações no sono, *stress*, tensão, dores de cabeça, queda de desempenho e irritação (efeitos psicológicos). O ruído também influencia na decisão de escolha sobre algum produto em relação a outro, por ser mais silencioso que o similar encontrado no mercado.

Pesquisadores como: PIMENTEL-SOUZA (1993); LANDSTROM et al (1995); MELAMED e BRUHIS (1996); entre outros, apontam que o ruído ocasiona problemas relacionados aos efeitos psicológicos: distúrbios neuro-vegetativos, náuseas, cefaléias<sup>16</sup>, irritabilidade, instabilidade emocional, redução da libido, ansiedade, nervosismo, perda de apetite, sonolência, insônia, aumento da prevalência de úlcera péptica, hipertensão arterial distúrbios visuais, consumo de tranqüilizantes, perturbações labirínticas, fadiga, redução de produtividade, aumento do número de acidentes e de consultas médicas, etc.

O ruído torna-se prejudicial ao organismo a partir do Nível de Intensidade Sonora de 75 dB(A), causa dores a partir de 120 dB(A) e é fatal em 180 dB(A) (MILLER JR, 1990). Outros efeitos nocivos do ruído incluem perda permanente da audição, hipertensão, tensões musculares, dores de cabeça, aumento do nível de colesterol, impotência sexual e úlceras gástricas. Estes fatores acima mencionados levam-nos a necessidade do conhecimento do

---

<sup>16</sup> Dor de cabeça (Dicionário Aurélio).

ruído urbano para que haja a possibilidade de utilização de estratégias de controle, melhorando o conforto sonoro do ambiente urbano.

DACACH (1983) salienta que um automóvel em movimento normal produz de 70 a 75 decibels, para os quais concorrem o motor, a ventoinha, a transmissão, o diferencial, os pneus e a carroceria. Em se tratando de caminhão pesado a grande velocidade o nível de pressão sonora chega a 90 decibels. Todos esses ruídos são agravados por buzinas, tubos de descargas sem silenciador, freadas e partidas bruscas, sirenes de viaturas policiais e ambulâncias, apitos estridentes dos guardas, alto-falantes para fins comerciais e políticos, etc. Em Porto Alegre, Rio Grande do Sul, foi registrado um ruído na maior parte do dia de 80 a 90 decibels, chegando a 100 decibels durante as horas de pico no trânsito da capital gaúcha.

A NBR 10152/2000 informa que em espaços de salas de aula o ruído pode variar entre 40 e 50 decibels. Nas residências o mesmo pode estar entre 35 e 50 decibels. Cada legislação específica das cidades relata o valor do ruído permitido dentro dos seus espaços urbanos. O ruído deve ser mantido em um nível que não agrida as pessoas que estão ao redor da sua fonte.

O barulho do trânsito, afeta não somente os transeuntes, mas também as pessoas no interior das edificações. Atualmente o ruído se constitui em um dos maiores problemas urbanos das cidades de médio e grande porte. Portanto, a preocupação com o ruído e o planejamento adequado do perímetro urbano pode desempenhar um fator de diferenciação na melhoria eficaz da qualidade de vida urbana.

### **2.5.3 Fatores ambientais e o som**

Daumal (1898, apud ROMERO, 2001), propõe uma cidade do som para Barcelona. Este espaço se compõe de diversas ações acústicas como: parque acústico, diferentes soluções sonoras em pavimentos, exposições sonoras, zonas de silêncio, etc. Esta proposição possui o intuito de criar um espaço sonoro, onde a arquitetura emite diferentes sons, contanto uma poética acústica, através da linguagem sonora, do volume e do silêncio, permitindo aos transeuntes conferir algumas características acústicas.

Para Romero (2001) os fatores ambientais, ligados às condições térmicas, interferem na propagação do som. Dentre estes, ganham mais destaques: o vento, a umidade, a temperatura, a neblina, a topografia e a vegetação.

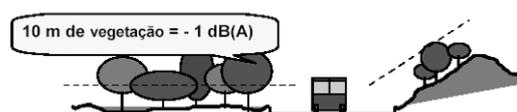
1. Vento: o som possui a tendência de devolver as ondas sonoras para a terra e na direção da sua fonte, assim a desvantagem está na propagação de um ruído mais rápido em altura, mostrando que o som ganha velocidade com a altura.
2. Umidade: a atenuação do som depende diretamente da quantidade de vapor de água presente no espaço. Assim, com o ar úmido e mais pesado, a velocidade de propagação do som é maior e com menos possibilidade de eco de reverberações.
3. Temperatura e inversão: a temperatura do ar decresce em  $6^{\circ}\text{C}$  por Km de distância da terra. O som é refratado até o alto, até a uma camada de ar mais quente formada em certa altura, onde a temperatura aumenta (inversão). Esta inversão provoca a refração do som até a terra.
4. Vegetação: a vegetação é considerada amiga do homem na busca pela atenuação do ruído. Pois a vegetação diminui a intensidade do som quando está presente em sua trajetória. Os bosques, por exemplo, são bons absorvedores do ruído, porém não são bons isolantes, sendo necessária uma densa massa de vegetação para obter um isolamento acústico sensível (figura 22)<sup>17</sup>.

---

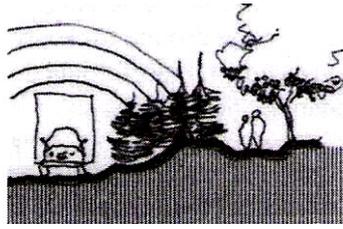
<sup>17</sup> A atenuação de uma faixa de vegetação densa de 100 m (cem metros) de extensão pode atingir 10 dB(A), ou seja, 1 dB(A) a cada 10 m (dez metros) de vegetação. Conforme Leonard e Parr (1970, apud LISOT, et al 2006) é possível obter uma atenuação de ruído de aproximadamente 8 dB por meio de massas arbóreas com 30 m (trinta metros) de largura.

Porém, para este efeito de atenuação ser considerável a massa da vegetação deve ser densa e extensa, com árvores de altura mínima de 5 metros e faixa de 30 metros de largura, com densidade o suficiente para obstruir a faixa visual entre a fonte e o receptor (LISOT, et al 2006).

Quando a vegetação é utilizada em taludes nas bordas de vias de tráfego tem-se uma oposição mais acentuada à propagação do ruído, no entanto a mesma é proporcionada pelo próprio talude e não pela vegetação, conforme a figura abaixo (LISOT, et al 2006).



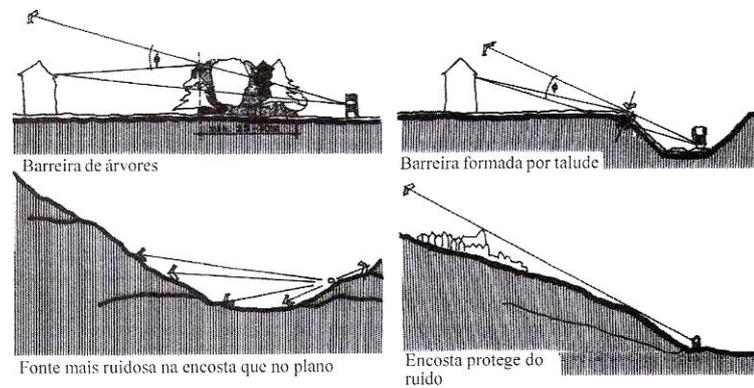
A Vegetação como Barreira Acústica. Fonte: BARROSO-KRAUSE et. al. (2005, apud LISOT, et al 2006)



**Figura 22: Filtro vegetal do ruído.**

**Fonte: ROMERO, 2001**

5. Topografia: a propagação das ondas sonoras depende do volume das superfícies que delimitam os espaços. E a topografia aparece gerando ou não obstáculos que causam isolamento e/ou absorção do som (figura 23).



**Figura 23: Efeitos topográficos para atenuação do ruído.**

**Fonte: ROMERO, 2001**

Segundo Romero (2001), a qualidade acústica de um espaço urbano é influenciada e determinada pela capacidade de absorção sonora dos materiais presentes. A capacidade de absorção sonora está ligada à superfície ou espessura do material, sua estrutura, densidade e elasticidade, dentre outras propriedades.

#### **2.5.4 O som da Cidade**

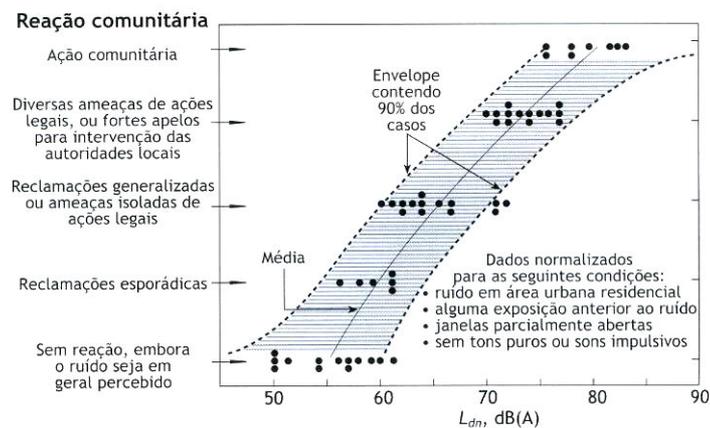
O ruído incomoda as pessoas de modo individual, interferindo na concentração, em uma simples conversa, no sono, no lazer, entre outras atividades. Isso demonstra que as pessoas reagem de forma diferente ao mesmo ruído. Um determinado som pode incomodar uma pessoa e a outra pode nem sequer percebê-lo no ambiente. Assim, não importa o nível do ruído desde que ele possa ser percebido, alguém irá possuir objeção a ele (BISTAFA, 2006).

O ambiente acústico urbano sofre visível degradação, tornando a cidade incomodamente barulhenta (MOSCI e DINIZ, 1997). Segundo a Organização Mundial da Saúde (1980),

aos 55 decibels o ruído desperta um leve *stress*, ocasionando certo desconforto para as pessoas que precisam de tranquilidade. Aos 70 decibels o ruído degrada o organismo humano, causando um desequilíbrio químico, aumentando o risco de hipertensão arterial e infarto do miocárdio, derrame cerebral, infecções, osteoporose e outras patologias. A partir dos 75 decibels, com exposição de oito horas diária ao ruído com este nível sonoro, provoca o comprometimento auditivo. Aos 80 decibels ocorre a liberação de endorfinas circulantes, provocando sensação paradoxal de prazer momentâneo. E com um nível sonoro por volta de 100 decibels pode ocorrer uma imediata perda da audição.

Pesquisas estão sendo desenvolvidas com o intuito de determinar o efeito que o ruído de tráfego provoca nas pessoas. A equação 01 calcula a porcentagem de pessoas que se incomodam com o ruído de tráfego. E a figura 24 fornece as porcentagens de pessoas perturbadas com o ruído de tráfego e aéreo, calculadas a partir da equação 01, para alguns valores de  $L_{dn}$ <sup>18</sup> (BISTAFA, 2006).

$$\%HA = 0,00047 \cdot L_{dn}^3 - 0,0401 \cdot L_{dn}^2 + 0,8553 \cdot L_{dn} \quad (\text{Eq. 1})$$



**Figura 24: Reação comunitária em função do  $L_{dn}$**

**Fonte: BISTAFA, 2006.**

A cidade possui complexas formas e elementos estáticos que possibilitam o fluxo de elementos dinâmicos como: pedestre, carros, motocicletas, metrô, ônibus e helicópteros. Essas formas arquitetônicas e os elementos urbanos produzem ou excluem sons que qualificam em bom ou ruim o ambiente sonoro do espaço envolto, para os usuários do espaço, transeuntes ou moradores das proximidades (ROMERO, 2001).

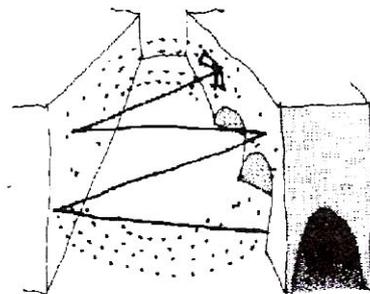
<sup>18</sup>  $L_{dn}$  = função do nível sonoro dia e noite.

Os sons produzidos pela cidade podem ser classificados em: sons de origem sólida e sons de produto de choque (passos, bater de portas, jatos de água, escapamentos, pássaros, vozes de vendedores, etc.). A partir destes ruídos de fundo se escuta a cidade. Das vozes dos transeuntes aparece o ruído de fundo, em um nível sonoro não muito intenso, mas se destacando do fundo uniforme. Através destes sons se tem a vida da cidade, caso contrário, ela estaria morta, o que devemos fazer é aceitar essa energia e saber controlá-la. A diferença entre o som específico e o ruído de fundo, está ligada a forma arquitetônica e urbana, são estas que compõem a melodia e a identidade acústica da cidade (ROMERO, 2001).

Para Romero (2001), o espaço público é delimitado pelas construções existentes onde podemos perceber os ruídos, sons, reflexões e reverberações do lugar. O ruído de fundo aqui é uma constante, em alguns casos o nível de ruído será intenso o bastante para estabilizar o som ao reverberar como um espaço positivo. O espaço arquitetônico pode responder como uma caixa de ressonância, com um dos lados vazios. E com muitas fontes de som que se misturam e se ocultam: campainhas, alarmes, vozes, passos, motores, sirenes, músicas, etc.

A tentativa de se construir uma superfície nova em um espaço aberto para evitar o ruído, leva em sua bagagem a informação de que as ondas sonoras continuaram a se propagar até as superfícies distantes. Essas ondas alcançam o ouvido e será somada ao nível de ruído que vai diretamente da fonte ao ouvido (ROMERO, 2001).

“Os ruídos são refletidos pelas fachadas planas e pelo chão, são absorvidos pelas aberturas dos portais e das fachadas, e difundidos pela fachada quando convexa, pelo mobiliário externo dos bares típicos dos climas amenos e pelos toldos do comércio” (ROMERO, 2001, p. 65, figura 25).



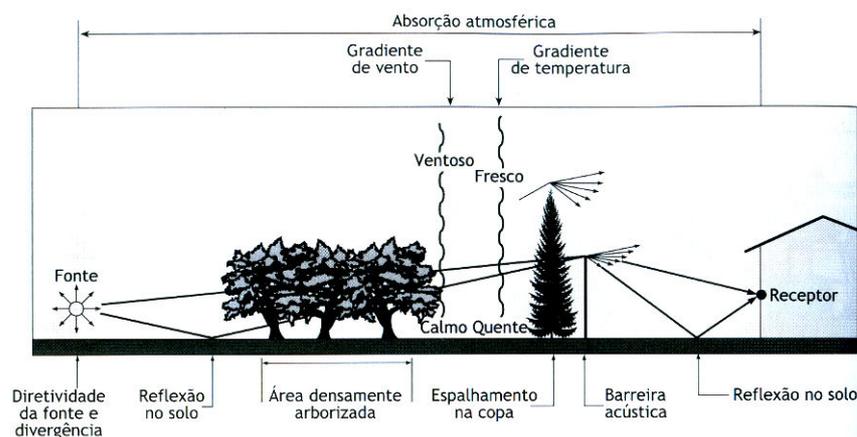
**Figura 25: Reflexão dos sons em superfícies verticais e horizontais**

**Fonte: ROMERO, 2001**

Conforme Bistafa (2006), ao se analisar a propagação sonora ao ar livre normalmente são estudados três componentes: a fonte sonora, a trajetória de transmissão e o receptor. A fonte emite uma determinada potência sonora, que gera um nível sonoro medido nas imediações da fonte. Este nível sonoro é atenuado pela forma como o som se propaga ao percorrer a sua trajetória até o receptor.

A absorção do ar atmosférico atenua o som ao longo do seu percurso e a reflexão do solo pode interferir no som diretamente, com o efeito de atenuação ou amplificação (esta última menos freqüente). Áreas com arborização densa também atenuam o som. O vento e a temperatura refratam a trajetória do som para cima e para baixo, gerando espaços com sombra acústica, que altera a interferência com o solo e modifica a ação das barreiras, conforme figura 26 (BISTAFA, 2006).

Não se pode esquecer que os sons sugerem idéias sem que alguém precise se mexer para reconhecê-las. Como o ruído do motor que avisa que alguém chegou; o gotejar da água que avisa quando alguém está no banho; o silêncio do dormir das crianças em uma casa que elas moram (SCHMID, 2005). Sendo importantes para o nosso dia-a-dia, precisamos controlá-lo para que não incomode ou atrapalhe as atividades cotidianas e propicie uma qualidade de vida, nos locais onde as pessoas residem ou trabalham, sem que seja preciso que o som ou o ruído deixe de estar presente nos momentos do dia-a-dia da população urbana.



**Figura 26: Mecanismos significativos da atenuação sonora ao ar livre**

**Fonte: BISTAFA, 2006.**

## 2.6 AS RUAS E A INFRA-ESTRUTURA URBANA

Para a cidade moderna sobreviver existe sob ela um emaranhado de cabos, tubulações, estacas, muros e galerias que são indispensáveis para suprir as necessidades essenciais dos habitantes (MACAULAY, 1988). As redes de infra-estrutura proporcionam vida ao espaço urbano. As cidades não são compostas apenas por vias, quadras e lotes, mas também por redes: viária, elétrica, abastecimento de água, esgoto e arborização e estas possuem papel importante para atender a população proporcionando melhor qualidade de vida nos bairros onde vivem.

O desenvolvimento e a implantação das redes de infra-estrutura são necessidades antigas e acompanham a evolução das cidades, chegando até a atualidade. A primeira rede a surgir foi à viária, para possibilitar o traslado no interior das cidades e o contato entre elas. A maior evolução dos pavimentos apareceu com o surgimento do automóvel. No abastecimento de água os romanos são os precursores com seus aquedutos. E a rede de esgoto mais organizada também é a de Roma, composta por uma série de canais que se reuniam em uma linha coletora mestra que levava a água servida para longe da cidade (MASCARÓ, 2005).

As redes de energia surgiram depois das mencionadas anteriormente, a primeira foi a de gás, com uma companhia criada na Inglaterra em 1812. No fim do século XIX, a rede de eletricidade apareceu, primeiramente com a intenção de iluminar os centros das cidades e depois para substituir os cavalos que puxavam os bondes. Nos últimos anos, vieram as redes de telefonia, televisão a cabo, formando as cidades da era pós-industrial. Uma das bases para a transformação das cidades se volta para a implantação de uma nova infra-estrutura e para a remoção dos problemas gerados pela industrialização, como a violência e a poluição (MASCARÓ, 2005).

Os custos da infra-estrutura urbana, segundo Mascaró (2005), podem ser classificados em quatro sistemas: sistema viário (pavimentação e drenagem pluvial); sistema sanitário (água potável e esgoto); sistema energético (redes de eletricidade e gás encanado); sistema de comunicações (telefonia e televisão a cabo). Estes custos variam entre 120 e 140 mil dólares por hectare urbanizado, divididos em média nas proporções apresentadas na tabela 02:

**Tabela 02: Custos (%) dos sistemas de infra-estrutura urbana**

Sistema Viário – 45%	Pavimentação: 73% Drenagem: 27%
Sistema Sanitário – 20%	Água potável: 30% Esgoto cloacal: 70%
Sistema Energético – 19%	Energia elétrica: 58% Gás encanado: 42%
Sistema de Comunicações – 16%	Telefonia: 75% Tv a cabo: 25%

**Fonte: MASCARÓ, 2005**

Contudo, neste tópico a pesquisa aborda apenas a rede viária por ser o foco do trabalho e do produto a ser desenvolvido.

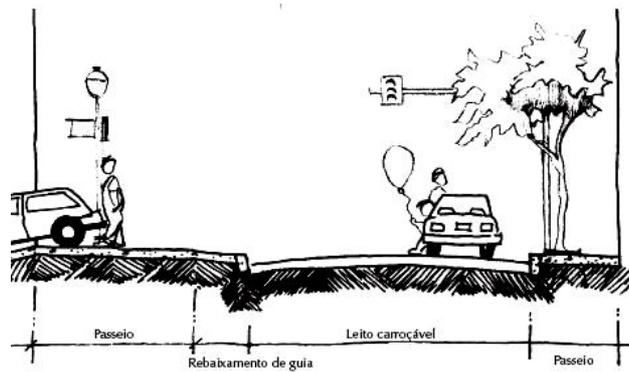
### 2.6.1 Rede Viária

As calçadas sozinhas não são nada, apenas possuem significado em um espaço quando em conjunto com os edifícios, as árvores, as ruas e outras calçadas próximas. O mesmo pode-se dizer das ruas, voltadas para o seu objetivo de abrigar o trânsito de veículos em seu leito. As ruas e as calçadas são os principais locais públicos da cidade, pois, se as ruas parecem interessantes, a cidade se torna interessante, e se estas demonstram ser monótonas, a cidade também irá parecer monótona (JACOBS, 2003).

As ruas e avenidas também possuem a função de transmitir segurança à população, para que esta sinta vontade de caminhar ou trafegar nos recintos da cidade. Um dos quesitos de vigilância pode estar ligado ao número de pessoas que estão presentes no espaço, como a presença de estabelecimentos e locais públicos dispostos ao longo das calçadas de um bairro, principalmente se utilizados à noite (JACOBS, 2003).

As ruas possuem caráter tridimensional, definido pelas superfícies horizontais e verticais (pavimentos e fachadas) que as compõem. É aqui que os edifícios se unem para dar forma a uma cena, definida como um recinto urbano, que possui um plano longitudinal horizontal delimitado pelos canais de trânsito que compõem o sistema viário (MASCARÓ, 2004).

Para Mascaró (2005), as vias urbanas constituem-se de duas partes conforme a função que desempenham: leito carroçável (destinado ao trânsito de veículos, num conjunto de meio-fio, sarjeta e boca-de-lobo); passeio (destinado ao trânsito de pedestres, limitado pelo meio-fio – sarjeta, ver figura 27).



**Figura 27: Perfil de uma via urbana**

**Fonte: SECRETARIA ESPECIAL DA PESSOA COM DEFICIÊNCIA E MOBILIDADE REDUZIDA, 2005**

Para dimensionar os pavimentos tornando-os mais econômico, se faz necessário aprender que existem pavimentos alternativos aos utilizados hoje. Dentre os pavimentos existentes aqui serão abordados apenas os de concreto, tipo articulado, permeável dentre outros que se somem ao perfil do pavimento a ser desenvolvido. Nas cidades atuais circulam veículos e pedestres, conjuntamente. Assim, passa a ser correto estudar critérios para o desenho da rede de pavimentos (MASCARÓ, 2005).

### **2.6.1.1 Os Pavimentos e suas características**

Considerando a extensão do território brasileiro, o déficit de pavimentos e a baixa disponibilidade de material pétreo em algumas regiões, é imprescindível a utilização de materiais fabricados nas localidades de cada cidade. Junto à falta de recursos financeiros, a necessidade de rápida implantação e a grande escala de área a ser pavimentada, leva-se a procura de novas tecnologias de pavimentação que considere a redução dos custos e tenha preocupações quanto à sustentabilidade (VILLIBOR, et al., 2007).

Os aspectos mais importantes ligados à escolha do pavimento são econômicos e técnicos. Nos pavimentos urbanos também se deve considerar características físicas ligadas à cor, rugosidade (o coeficiente de atrito pode ser menor que o das estradas – revestimento mais áspero), facilidade de limpeza e segurança. Um revestimento mais liso, com menor coeficiente de atrito, não causa decréscimo à segurança uma vez que a velocidade dos automóveis nas cidades é menor que nas estradas (MASCARÓ, 2005).

Segundo Mascaró (2005), para a pavimentação dos passeios públicos laterais às ruas utiliza-se em maior quantidade nas cidades o ladrilho hidráulico, piso de concreto, devido ao seu baixo custo e sua rápida execução, se comparado aos demais revestimentos. Os

pavimentos do tipo articulados possuem excelente aparência e resistência ao tráfego de veículos. Do ponto de vista econômico, estes são pouco utilizados para a circulação de pedestres, usados, apenas, para destacar pequenos trechos em ruas e avenidas. Esta tipologia de piso tem excelente aparência e possui resistência às cargas para o tráfego eventual de veículos.

Conforme Villibor (2007), um pavimento é considerado de baixo custo quando:

- Utiliza bases construídas de solos locais *in natura*, ou em misturas, com custos substanciais inferiores às bases convencionais (brita, solo-cimento, macadame hidráulico ou betuminoso);
- Utiliza revestimento esbelto do tipo tratamento superficial ou concreto betuminoso usinado a quente;
- Possui dimensionamento para atender tráfego leve.

A resistência do pavimento é decorrente dos esforços que estes sofrem para atender a sua função que é abrigar o tráfego urbano. Esses esforços são produzidos por variações de temperatura, umidade e calor. Os pavimentos urbanos, voltados ao tráfego, devem possuir as seguintes características (MASCARÓ, 2005):

1. Alta resistência às cargas verticais e horizontais, ao desgaste e à impermeabilidade, evitando a deterioração da base;
2. Baixa resistência à circulação dos automóveis, visando a diminuição do consumo de combustível. Os pavimentos de paralelepípedo tem resistência de 20 e 30Kgt<sup>-1</sup>, dependendo do acabamento dos blocos, das juntas e do seu nivelamento. Os pavimentos de blocos articulados de concreto possuem as mesmas características do anterior, porém a resistência à tração está entre 15 e 25 Kgt<sup>-1</sup>. Estas observações demonstram que a baixa resistência à tração é uma característica importante dos revestimentos, particularmente, dos escolhidos para áreas industriais onde circulam veículos pesados, pela sua participação no consumo de combustível.
3. Facilidade de conservação, não ser preciso interromper o tráfego para reparos, ou se for, que seja em curto prazo. A reparação do pavimento do tipo asfalto é mais fácil pela sua plasticidade, com o tráfego liberado em poucas horas. Os revestimentos de concreto apresentam grande dificuldade de manutenção, a

liberação do tráfego demora o tempo necessário para que ocorra o endurecimento do novo concreto, ou seja, 30 dias com o uso de acelerador. Os pavimentos de paralelepípedo e blocos articulados de concreto estão em situação intermediária de tempo de liberação para o tráfego.

4. Alto coeficiente de atrito, permite boa frenagem, inclusive em períodos de chuva ou geada, esforços de aceleração e mudança de direção dos veículos. Permite um coeficiente de atrito de boa aderência dos pneus, em dias secos ou molhados, assim evitando acidentes. Os pavimentos de cimento Portland tendem a ser muito lisos, se não for utilizado algum equipamento que crie ranhuras ou os traços na superfície do revestimento. O concreto asfáltico tem bom coeficiente de atrito, porém a dosagem de asfalto e areia tem que ser controlada, para que o asfalto não cubra as pedras, caso que o tornaria liso e escorregadio. Os pavimentos de pedra colocada à mão ou de paralelepípedo podem tender a ser escorregadios em dia de chuva. A sonoridade dos pavimentos está ligada a sua textura e elasticidade. O revestimento mais silencioso é o asfalto, depois o concreto moldado “in loco”, seguido pelos blocos articulados e os de paralelepípedos, e o que provoca mais ruído é o de pedra colocada à mão.
5. Cor adequada permite ao motorista e pedestre boa visibilidade durante o dia, a noite ou sob nevoeiro. A cor dos pavimentos tem importância pelo aspecto da visibilidade e da temperatura, cores muito escuras dificultam a visibilidade, principalmente à noite, gerando a necessidade de um aumento da sinalização, o que pode promover a elevação da poluição visual urbana. Os pavimentos adquirem modificações em sua temperatura pela incidência da radiação solar, os pavimentos asfálticos são quase pretos, chegam a atingir 90 °C, tornando-se desagradável aos pedestres que transitam por espaços onde tal revestimento está implantado. Os pavimentos de cores claras, como os de concreto, refletem boa quantidade dos raios solares incididos sobre eles, com isso suas temperaturas podem chegar até 60 °C, demonstrando uma diferença de temperatura significativa se comparado ao revestimento do tipo asfáltico.

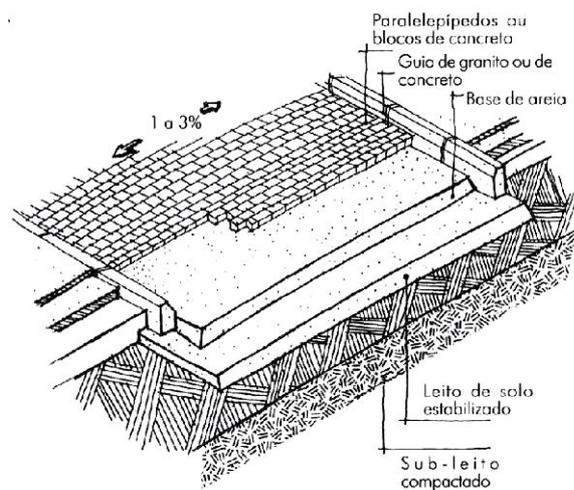
#### **2.6.1.2 Tipos de Pavimentos**

Dentre as tipologias de revestimento existente serão estudadas apenas: pavimentos com blocos de concreto ou paralelepípedos, pavimento de pedra colocada à mão e pavimento de

junta aberta, por serem compostos com concreto ou pela sua permeabilidade, assim estando mais próximas da proposta do produto a ser desenvolvido.

#### 2.6.1.2.1 PAVIMENTOS COM BLOCOS DE CONCRETO OU PARALELEPÍEDOS

Estes pavimentos também podem ser denominados de semiflexíveis (figura 28), geralmente são formados por blocos de concreto (travados ou não) ou paralelepípedos de pedra como granito ou outras rochas de alta resistência. Nos blocos articulados ou travados as cargas recebidas são parcialmente distribuídas entre os blocos adjacentes. Nos blocos sem articulação, as faces laterais são paralelas entre si e possuem comportamento, quanto a distribuição de cargas, idêntico aos paralelepípedos (MASCARÓ, 2003 e 2005).



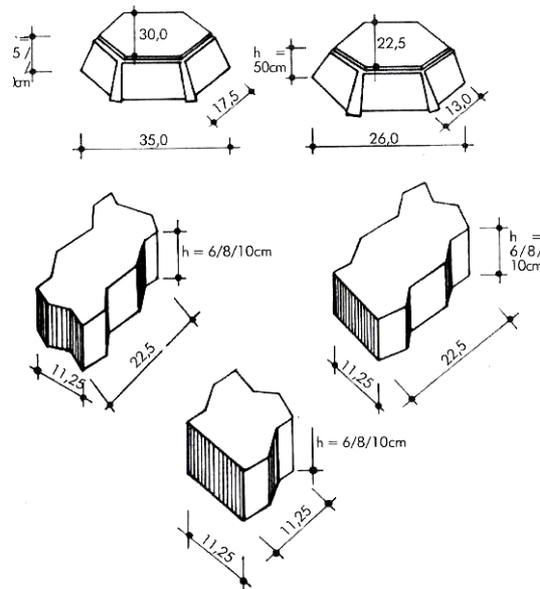
**Figura 28: Seção transversal de um pavimento semiflexível paralelepipedal, conforme as cargas e a resistência da base pode se eliminar as camadas intermediárias.**

**Fonte: MASCARÓ, 2003**

Hoje a utilização dos blocos de concreto, também denominados de pavimentos intertravados ou pavers, cresce particularmente no Brasil. Essa tipologia possui variadas opções de formatos, padrões, cores e matizes, possibilitando diversas opções de estética. Este pavimento apresenta êxito na aplicação em praças, parques, jardins, ciclovias, calçadas, estacionamentos, vias urbanas, pátios, depósitos, galpões industriais, estradas, acostamentos, entre outros (FIORITI, 2007).

As formas mais comuns dos blocos de concreto, dentre os disponíveis no mercado, são os sextavados e os retangulares. Estes podem ser fabricados em usinas, com maior controle de qualidade, ou então, através de máquinas portáteis no próprio local da obra, quando estas se encontram em locais muito afastados dos grandes centros (MASCARÓ, 2003, figura 29).

A pavimentação de blocos de concreto data de pouco tempo e vem evoluindo rapidamente, pelo auxílio de seu aperfeiçoamento. No Brasil, a sua utilização teve início há cerca de 15 anos, que em caráter experimental a capital paulista pavimentou algumas de suas ruas. Após alguns anos, a sua utilização foi incipiente, pois os trechos pavimentados eram alvos de observações constantes. Em 1952, a sua utilização ganhou larga escala nas cidades do estado de São Paulo entre outros, o interesse pelos blocos se dá pela sua inegável qualidade estética, dentre outras características deste pavimento (SENÇO, 1973).



**Figura 29: Tipologias alternativas de blocos articulados de concreto**

Fonte: MASCARÓ, 2003

O pavimento de blocos de concreto pode ter vida útil de até 25 anos, desde que tenham projetos apropriados para a sub-base, além de blocos de boa qualidade e que os mesmos estejam muito bem assentados. O intertravamento é a capacidade que os blocos adquirem para resistir aos movimentos de deslocamento individual, em relação às peças vizinhas (FIORITI, 2007).

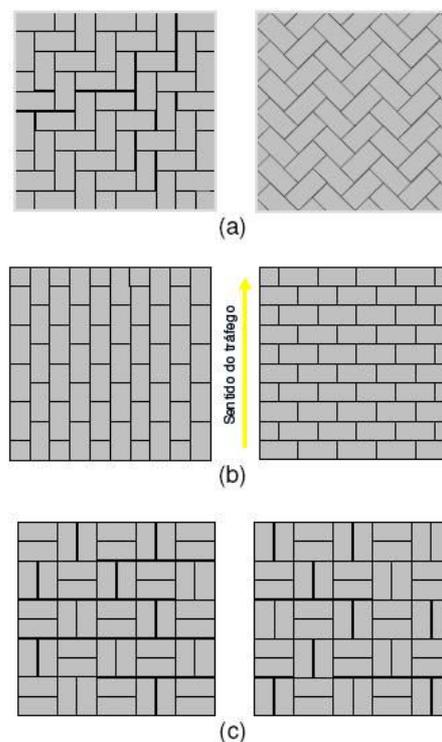
Para Senço (1973), o engenheiro que executa esta pavimentação de ruas de cidades, deve ter em mente, entre outros fatores:

- Facilidades de remoções do pavimento, para serviços no sub-solo;
- Tráfego de veículos em velocidades moderadas;
- Percursos em distâncias relativamente pequenas, em velocidades variáveis e sujeitos à paradas constantes;

- d. Superfícies de rolamento estáveis, sem muito rigor quanto aos pontos de atrito;
- e. Construção muitas vezes intermitente, sujeita a orçamentos reduzidos e liberação de verba fracionada.

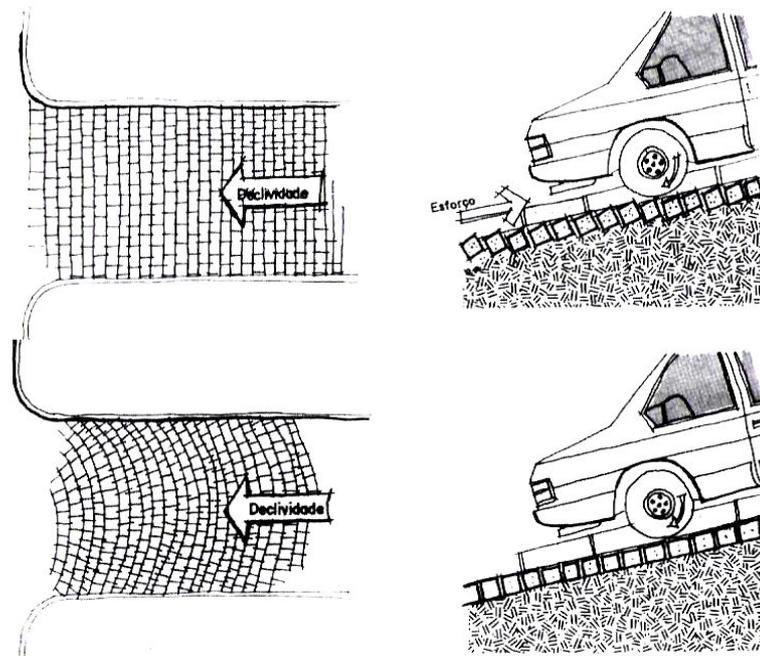
Segundo Mascaró (2003), o sentido de colocação das peças em 45°, como ocorria nas antigas cidades portuguesas, dificulta o deslocamento das peças, mantendo o piso em melhor estado de conservação. As figuras 30, 31 e 32 mostram alguns detalhes de colocação da pavimentação.

Conforme Cruz (2003), a forma de arranjo para o assentamento define a aparência estética do pavimento intertravado. Não há um consenso sobre a interferência na forma de assentamento e o desempenho do pavimento, porém para o boletim técnico do Interlocking Concrete Institute (ICPI – 2002 apud CRUZ 2003), o recomendado para áreas com tráfego de veículos é a tipologia de arranjo em espinha-de-peixe pelo seu desempenho na estrutura do intertravamento das peças. A figura a seguir mostra os tipos de arranjo mais utilizado para a colocação do piso intertravado.



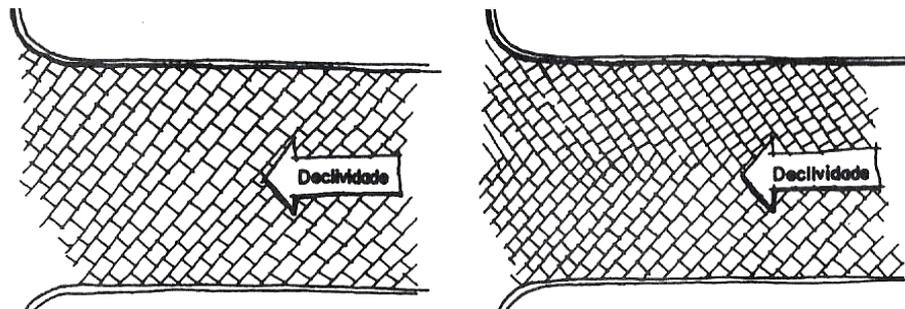
**Figura 30: Assentamentos típicos: a) espinha-de-peixe ou ângulo reto; b) fileira ou corredor; c) trama**

**Fonte: Associação Brasileira de Cimento Portland, 2001 apud FIORITI, 2007**



**Figura 31: Pavimento de paralelepípedo ou blocos sem articulação colocados em arco, recomendado para vias em aclive.**

Fonte: MASCARÓ, 2003



**Figura 32: Pavimento de paralelepípedo ou blocos sem articulação colocados a 45° no sentido da via.**

Fonte: MASCARÓ, 2003

#### 2.6.1.2.2 PAVIMENTO DE PEDRA COLOCADA À MÃO

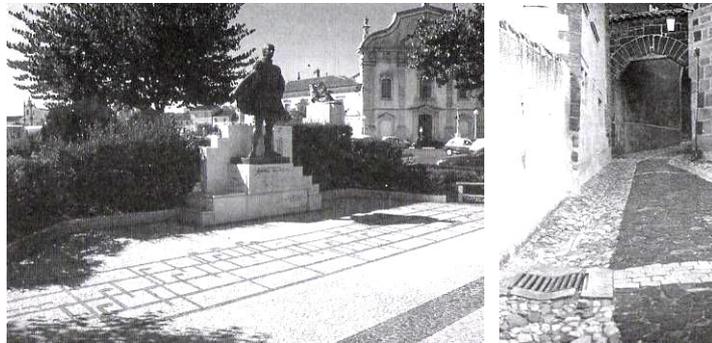
Foi um dos primeiros pavimentos introduzidos no Brasil. Este é originário da Europa como os antigos pavimentos de pedra, as grandes pedras inicialmente utilizadas apresentavam enormes deficiências de conforto e segurança para tráfegos mais intensos e diversificados. Isto obrigou a se utilizar pedras com menores dimensões, facilitando o ser transporte e alterando o processo de produção (SENÇO, 1973).

Para a utilização desta pavimentação passou a ser necessária descobrir boas jazidas de exploração de pedras, como as de Minas Gerais em Belo Horizonte, Uberlândia, Uberaba,

etc. Para os municípios de pequena arrecadação, não restam dúvidas, que esta tipologia de pavimentação permitiu o revestimento de ruas mais rapidamente (SENÇO, 1973).

Os pavimentos de pedra colocada à mão são considerados uma excelente forma de execução de revestimentos. Esta tipologia é largamente utilizada em países do mundo todo (figura 33 e 34), porém, no Brasil, hoje este simples procedimento quase não é utilizado (MASCARÓ, 2003). Assim o seu emprego, conforme Senço (1997) se resume a:

- Estradas municipais de pouca intensidade de tráfego;
- Acessos às rodovias, fazendas, etc.;
- Ruas de cidades pequenas, sem meios de empregar tipos mais nobres de pavimento.



**Figura 33: Imagens de ruas com pedras colocadas à mão em cidades medievais de Portugal e França, respectivamente.**

**Fonte: MASCARÓ, 2003.**



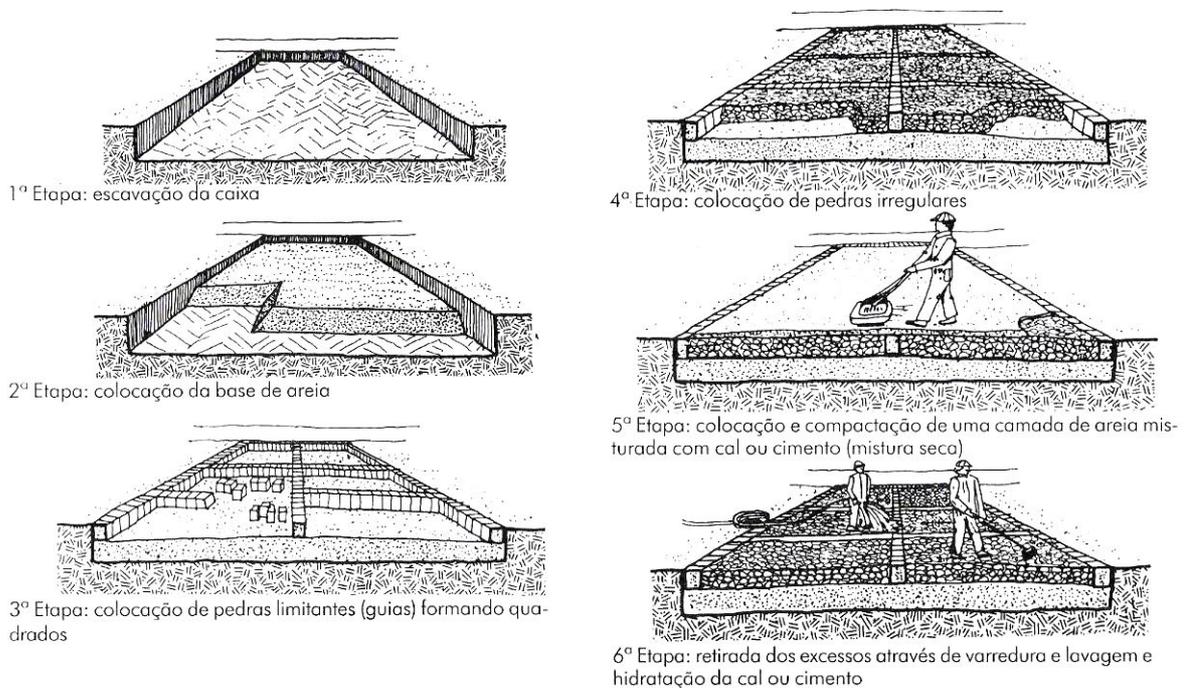
**Figura 34: Exemplo de pavimentos colocados à mão com diferentes texturas e inserção de elementos variados.**

**Fonte: MASCARÓ, 2003.**

Conforme Mascaró (2003), o procedimento adequado para a execução deste revestimento está abaixo relacionado e ilustrado nas imagens que compõem a figura 35:

- a) abre-se a caixa da rua, retirando a terra vegetal;

- b) coloca-se uma base de areia grossa até um nível adequado ao tamanho das pedras de acabamento final e compacta-se;
- c) colocam-se pedras regulares, para formar as guias;
- d) assenta-se as pedras, podendo utilizar-se de pedras irregulares;
- e) compacta-se as pedras com o equipamento adequado;
- f) os vazios devem ser preenchidos com areia e/ou cimento com cal, ou mesmo, asfalto;
- g) lava-se o pavimento para retirar os restos e hidratar o material das juntas, caso o preenchimento tenha sido realizado com areia e/ou cimento e cal deve-se adicionar água ou areia com asfalto líquido.



**Figura 35: Ilustrações de colocação de pavimentos**

**Fonte: MASCARÓ, 2003**

O material de preenchimento das juntas deve ser resistente à erosão provocada pelas águas das chuvas, impedindo que esta entre na base do pavimento e possa deteriorá-lo. O preenchimento feito com material solto, em um curto espaço de tempo, pode ser retirado pela ação das águas pluviais, possibilitando que as pedras saiam facilmente do lugar, tornando o pavimento irregular e desagradável. Esta tipologia de revestimento permite a infiltração das águas pluviais, aumentando a capacidade da drenagem pluvial construída ao

longo das vias. Porém, essa permeabilidade do pavimento pode prejudicar a sua vida útil, pelo enfraquecimento da base (MASCARÓ, 2003).

### 2.6.1.2.3 PAVIMENTO DE JUNTA ABERTA

Os pavimentos de junta aberta constituem uma alternativa para que a grama cresça entre as peças, auxiliando na diminuição da temperatura local. Porém esta tipologia não é recomendada para vias de tráfego intenso, devido a sua resistência, mas é recomendada para vias de tráfego eventual de veículos (MASCARÓ, 2003).

Para o crescimento e fortalecimento da grama é necessário que a junta tenha de 2,5 a 3,0 centímetros de largura, podendo ser obtida através de peças irregulares ou regulares, de concreto ou não, desde que o desenho da peça permita a acumulação de terra vegetal para que a grama se consolide, exemplos figuras 37 (MASCARÓ, 2003).



**Figura 36: Escadaria com placas de pedras irregulares colocada à mão com junta aberta e pavimentação com blocos de concreto com grama e sua manutenção, respectivamente.**

**Fonte: MASCARÓ, 2003.**

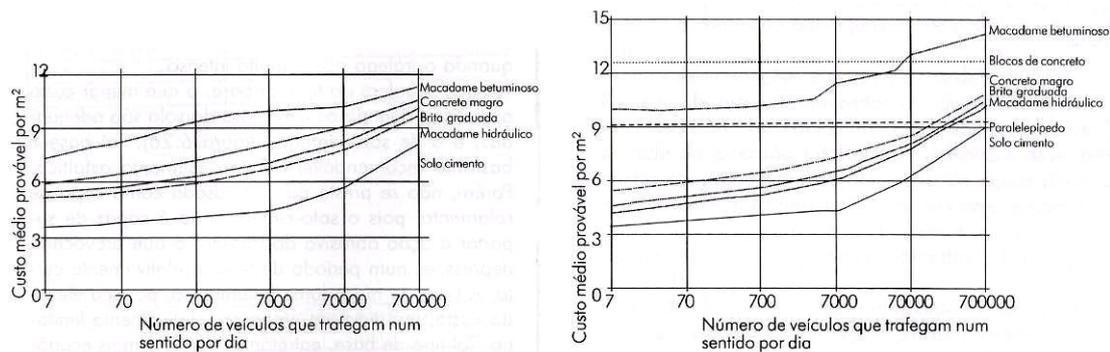
O tipo de pavimentação auxilia no controle da erosão urbana, mesmo com galerias já executadas. O revestimento deve além de suportar o tráfego de veículos, contribuir com a permeabilidade do meio urbano, pois, aumentando a permeabilidade se reduz o escoamento superficial (TUCCI, 1997).

### 2.6.1.3 Custo da pavimentação

Segundo Mascaró (2005), o custo do sistema viário equivale a 45% do custo total de toda a rede de infra-estrutura urbana. A pavimentação equivale a 75%, destes 45% está ligado ao sistema viário. A escolha pela tipologia da pavimentação, para uma estrada ou via pública,

depende da questão econômica. Para a maior parte das ruas e avenidas, o pavimento asfáltico é o mais recomendado devido ao tráfego intenso.

É possível baratear o custo da pavimentação com o uso do solo local. Pois se o solo for relativamente bom, a espessura do revestimento é menor, ou mais fina, e a ruptura será menos provável de ocorrer. Se o subleito (solo) for ruim, precisa-se de pavimentos espessos, o que eleva o custo da pavimentação (LOTURCO, 2005).



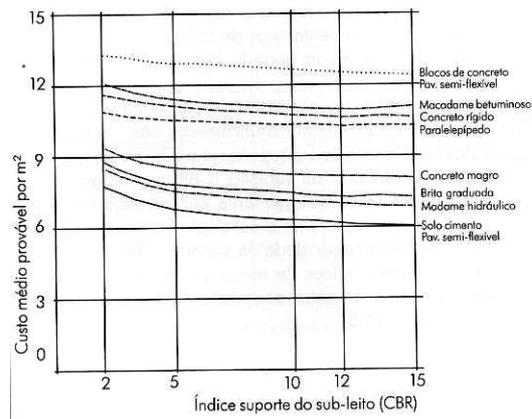
**Figura 37: Gráficos de comparação de custo para pavimento flexível e pavimento rígido por número de veículos dia, respectivamente.**

**Fonte: MASCARÓ, 2003**

Conforme Senço (1973), não é fácil definir um pavimento de baixo de custo, porém a idéia fica mais ou menos delineada, quando são impostas duas condições:

- É de baixo custo o pavimento de vida útil considerada como metade a um terço da vida útil normal dos pavimentos;
- É de baixo custo o pavimento executado a fim de garantir tráfego permanente na estrada ou rua, sem qualquer outra exigência que levaria a um dispêndio maior de dinheiro.

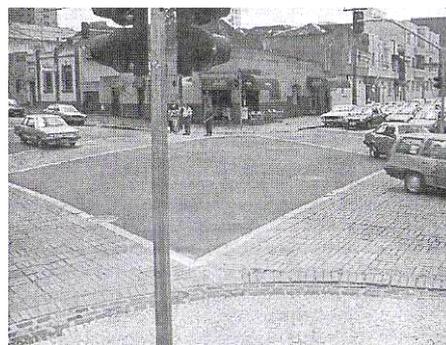
Para Mascaró (2003), o custo por metro quadrado quase não varia para solos com capacidades de suporte para índices de suporte de subleito acima de 7 (sete), como argilas pouco plásticas, areias e saraiva. Entretanto, para solos de baixa capacidade de suporte, inferior a 5 (cinco), como pântanos, o custo do pavimento sobe acentuadamente (figura 38).



**Figura 38: Custo ( $m^2$ ) do pavimento flexível em função do número de veículos dia**

**Fonte: MASCARÓ, 2003**

A pavimentação de passeios públicos às margens das ruas, avenidas, em núcleos habitacionais ou mesmo em parques, os ladrilhos hidráulicos de cimento (mosaico) tem menor custo. Os revestimentos em grandes extensões são de rápida execução. Os pavimentos do tipo articulados são menos econômicos para as vias públicas de pedestres. Assim, podem ser aplicados em pequenos trechos onde se queira criar algum enfoque. Um exemplo é a aplicação destes pavimentos em cruzamentos de vias onde haja circulação de pedestres (figura 39). Os pavimentos articulados quando bem executados possuem uma excelente aparência e resistência ao tráfego de veículos, mesmo que eventual (MASCARÓ, 2005).



**Figura 39: Cruzamento de pedestre com troca de pavimentos por blocos e cor**

**Fonte: MASCARÓ, 2005**

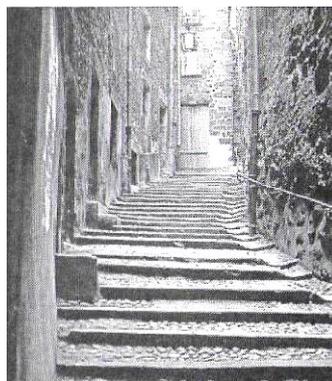
### 2.6.2 Drenagem Pluvial

Drenagem é o termo empregado na denominação das instalações destinadas ao escoamento do excesso de água, seja em áreas rurais ou urbanas, sendo que a drenagem desta última é o enfoque deste estudo. A drenagem urbana não se restringe aos aspectos técnicos impostos pelos limites restritos da engenharia, esta compreende todo conjunto das medidas

tomadas para a atenuação dos riscos e prejuízos decorrentes de inundações periódicas a que toda a população está sujeita, possibilitando um desenvolvimento urbano harmônico, articulado e sustentável (TUCCI, 1997).

O processo de urbanização caótica e o uso inadequado do solo provocam a redução da capacidade de armazenamento e absorção do solo. O caminho a ser percorrido pelas águas da chuva sobre uma superfície pode ser ou não topograficamente bem definido, conforme a implantação das cidades. O percurso caótico das enxurradas, então passa a ser determinado pelo traçado das ruas e mudando o seu comportamento natural, ou seja, antes da urbanização de uma determinada área (CANHOLI, 2005).

Historicamente, engenheiros e profissionais da área buscam solucionar o problema da perda do armazenamento natural das águas, que gera aumento da velocidade de escoamentos (CANHOLI, 2005). Desde a época dos romanos, alternativas vem sendo evidenciadas e aplicadas nos caminhos abertos das cidades. Na Roma antiga, a drenagem das vias foi minimizada com o abaulamento do seu perfil, para que a água escorresse pelas margens das mesmas (figura 02), transformando as ruas em grandes condutores, das águas pluviais, a céu aberto. Em cidades medievais a solução aplicada, para evitar a estagnação das águas, foi através da implantação de escadarias (figura 40). Solução adotada pelas grandes cidades, mas transformando a idéia em galerias para condução das águas nos subterrâneos das cidades.



**Figura 40: Escadaria na cidade medieval de Le Puig, França.**

**Fonte: MASCARÓ, 2005**

Em Paris, as águas pluviais eram conduzidas por galerias, que previam a circulação de pessoas no seu interior para a manutenção das mesmas, nas épocas de estiagem. As dimensões dessas galerias respondiam a duas funções: escoar as águas da chuva e os esgotos. Quando o sistema combina estas duas funções ele é chamado de sistema

unificado. Hoje o sistema unificado não é mais utilizado, principalmente na Europa e nos Estados Unidos, pela dificuldade do tratamento do esgoto. A prática mais comum é a construção de redes de esgoto e águas pluviais separadamente, mesmo que muitas vezes ocorra o fato do esgoto ser lançado sem tratamento prévio no curso d'água mais próximo (MASCARÓ, 2005).

A maioria dos países em desenvolvimento, inclusive o Brasil, vem experimentando nas últimas décadas um crescimento urbano desordenado e com precárias redes de infraestrutura de drenagem, gerando problemas de inundações. O baixo nível de conscientização da população sobre o problema, a inexistência de planos, mesmo que a longo prazo, e a manutenção inadequada dos sistemas de controle de cheias deixa milhares de pessoas desabrigadas, sem seus pertences, doentes e até mortas. Esta situação repetidamente ocorrida, está provocando um crescimento da consciência ambiental, e tem motivado interesses pelo problema das inundações e as suas conseqüências atreladas à saúde e ao saneamento das cidades (BRAGA, 1994, apud CANHOLI, 2005).

Para que este controle ocorra, existem medidas de controle estruturais e não estruturais. A primeira está ligada às obras de engenharia e a segunda, vem em contraposição das medidas estruturais. Estas formas não estruturais criam a sensação de segurança e até induzem a ocupação de áreas inundáveis, e sendo eficazes mesmo com custos mais baixos e com horizontes mais longos de atuação. A ação não estrutural busca disciplinar a ocupação do território, e o comportamento da população e das atividades econômicas (TUCCI, 1995).

#### **2.6.2.1 Sistema convencional de drenagem urbana**

A drenagem urbana é delimitada pelo escoamento das águas pluviais de todas as bacias contribuintes e/ou existentes em uma determinada cidade, e este sistema é composto por macro e micro-drenagem. O escoamento de águas pluviais para uma determinada bacia hidrográfica finalizando em um fundo do vale, é denominado de **Sistema de Macro-Drenagem**.

As águas decorrentes das precipitações que caem diretamente sobre as vias públicas são conduzidas às bocas-de-lobo situadas nas sarjetas. Estas torrentes de águas somadas à rede de coleta pública, provenientes dos coletores diversos (calhas, pátios, grelhas, etc) localizados nas edificações, são escoadas pelas tubulações que alimentam os condutos secundários. O sistema responsável por esta captação das águas pluviais urbanas nas vias e

a sua condução pela malha urbana até o fundo de vale é denominado **Sistema de Micro-drenagem**. Este sistema é o alvo deste estudo, por estar focado na drenagem urbana.

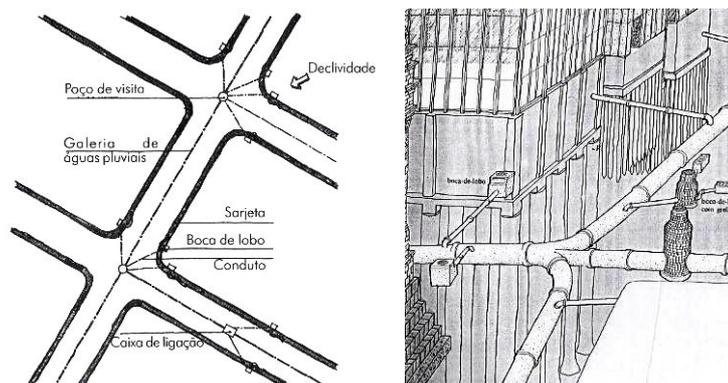
### 2.6.2.1.1 INFRA-ESTRUTURA DA MICRO-DRENAGEM URBANA

Segundo Mascaró (2005), o sistema de micro drenagem, de cidades em desenvolvimento, é constituído basicamente de três partes:

1. ruas pavimentadas, incluindo as guias e as sarjetas;
2. rede de tubulações e seus sistemas de captação;
3. áreas deliberadamente alagáveis.

As ruas pavimentadas permitem a condução das águas para o sistema de captação. Estudos realizados na capital paulista constataam que muitas ruas não possuem tubulação de drenagem das águas pluviais, demonstrando que na prática isso torna o sistema incipiente e subdimensionado. A prática pode estar presente em demais cidades brasileiras (MASCARÓ, 2005), o que agrava problema das inundações periódicas tornando esta uma realidade mais próxima de um maior número de pessoas.

A rede de drenagem necessita de acessórios como: meio fio, sarjetas, sarjetões, condutores, caixas de ligação, poços de visita, galerias (figuras 41), e estes constituem aproximadamente 14% do custo total da implantação da rede de drenagem (MASCARÓ, 2005).



**Figura 41: Elementos básicos dos sistemas de drenagem pluvial convencional e esquema de drenagem urbana.**

**Fonte: MASCARÓ, 2005 e MACAULAY, 1988, respectivamente**

#### **Componentes da micro-drenagem:**

1. Meios fios: são elementos colocados entre o passeio (calçada) e o leito carroçável (rua), sendo alocados paralelamente ao eixo da rua. Os meios fios podem ser construídos

de pedras ou concreto pré-moldado, formando um conjunto com a sarjeta (TUCCI, 1997). A sua altura é de aproximadamente 15 centímetros em relação ao nível superior da sarjeta, uma altura maior que esta pode dificultar a abertura das portas dos automóveis, e uma altura menor diminuiria a capacidade de condução das águas pluviais (MASCARÓ, 2005, figura 42).



**Figura 42: Condicionantes das dimensões das guias nas vias urbanas de estacionamento paralelo.**

**Fonte: MASCARÓ, 2003.**

2. Sarjetas: são as faixas do leito carroçável, junto ao meio fio. Podem ser executadas em concreto moldado *in loco* ou pré-moldado. As sarjetas, juntamente com o meio fio, são canais triangulares que dirigem as águas para o sistema de captação. O seu dimensionamento é realizado em função da declividade longitudinal e transversal da via, rugosidade e outros detalhes construtivos (TUCCI, 1997).

As sarjetas, em nenhum caso, podem ultrapassar a largura de 60 centímetros que é o limite da largura do passo do homem, o confortável é trabalhar com 50 centímetros (figura 43), devido o seu dimensionamento estar condicionado ao passo do pedestre. Nos locais onde há rebaixos para acesso de deficientes ou entradas de veículos, as guias deveram ser rebaixadas (MASCARÓ, 2003).

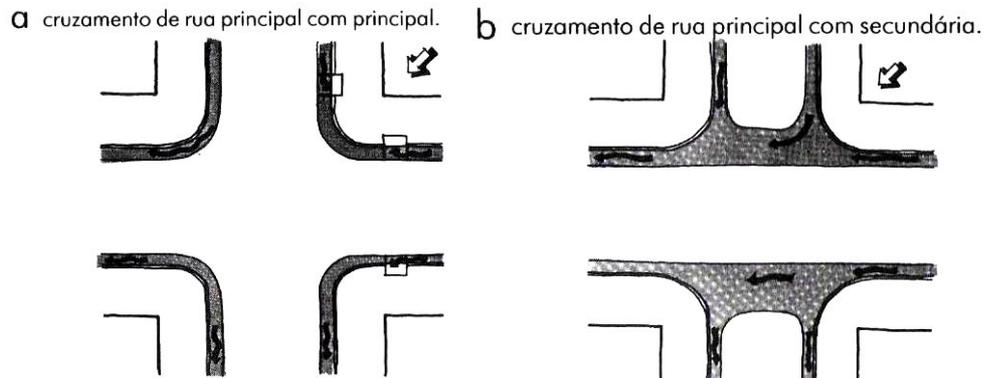


**Figura 43: Condicionantes das dimensões das sarjetas nas vias urbanas de estacionamento paralelo.**

**Fonte: MASCARÓ, 2003.**

3. Sarjetões: são formados pela própria pavimentação nos cruzamentos das vias públicas, formando calhas que servem para orientar o fluxo das águas que escoam pelas

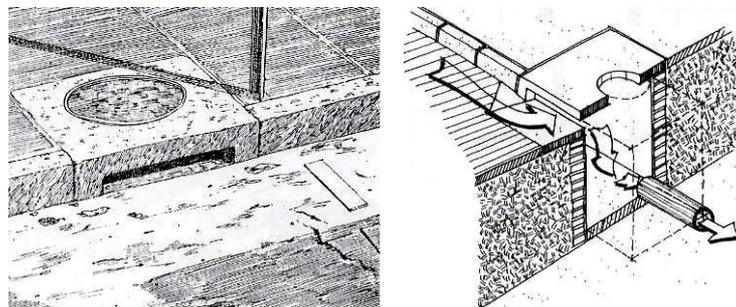
sarjetas. O ponto crítico deste sistema se encontra nos cruzamentos das vias, onde as águas não devem atrapalhar o tráfego (TUCCI, 1997). A figura 44 exemplifica diferentes soluções para a condução da água da chuva.



**Figura 44: Esquema de escoamento de águas pluviais em cruzamentos**

**Fonte: MASCARÓ, 2003.**

4. Bocas-de-lobo: são dispositivos localizados em pontos convenientes, nas sarjetas, para captação das águas pluviais, geralmente se encontram próximo aos cruzamentos (TUCCI, 1997, figura 45).



**Figura 45: Ilustração de uma boca-de-lobo e ilustração do caminho das águas pela boca-de-lobo, respectivamente.**

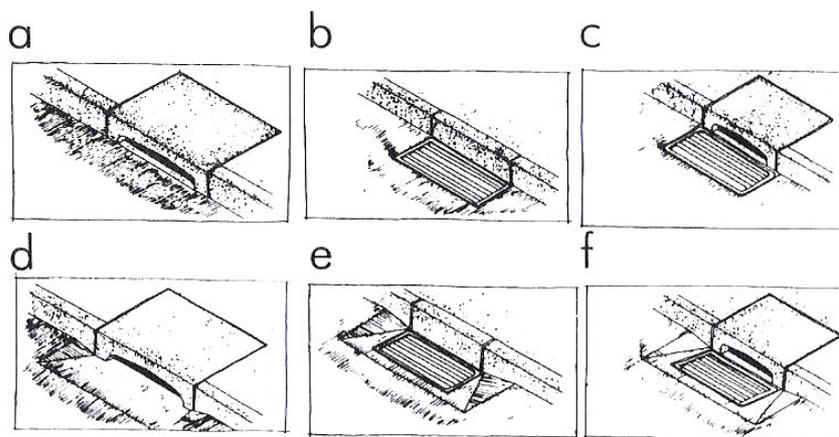
**Fonte: MACAULAY, 1988; MASCARÓ, 2003, respectivamente.**

Segundo Mascaró (2005), existem três tipos de bocas-de-lobo, são eles:

1. Sistema de captação lateral: este deve estar localizado em depressão. A capacidade desse sistema é inversamente proporcional à declividade da via e diretamente proporcional à espessura da lâmina d'água e ao comprimento da boca-de-lobo (ver A e D da figura 46).
2. Sistema de captação vertical: pode estar alocado na cota inferior à da sarjeta ou não. No primeiro caso, este sistema passa a ser mais eficiente, pois a altura da lâmina d'água sobre a grade, força a sua condução para o interior da galeria.

Este sistema está em desuso, devido ao seu funcionamento depender da limpeza das vias, pela obstrução das grades. A capacidade deste sistema depende da área da abertura e da altura da água sobre ela (ver B e E da figura 46).

3. Sistema de captação combinado – vertical e lateral: possui maior eficiência para a captação das águas, pois a abertura junto ao meio fio age como uma alternativa ao possível entupimento da grade. A eficiência da grade aumenta conforme a sua inclinação transversal-longitudinal da via (ver C e F da figura 46).



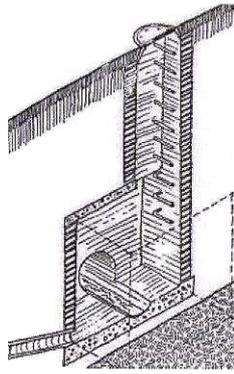
**Figura 46: Ilustrações dos sistemas de captação: vertical, lateral e combinado, respectivamente.**

**Fonte: MASCARÓ, 2003.**

5. Condutores forçados: são obras destinadas à condução das águas coletadas, de forma eficiente e segura, sem preencher totalmente a seção transversal do condutor (TUCCI, 1997).

6. Caixas de ligação: possuem o objetivo de unir os condutores de ligação com as galerias, e conectá-los entre si para reuni-los em um único, não possuindo entrada para limpeza. São geralmente executas em alvenaria ou concreto, de seção quadrada (1,00 x 1,00 m ou 1,40 x 1,40 m). Este é um elemento pouco utilizado em função do seu custo, relacionando-o com a mínima função que cumprem (MASCARÓ, 2005).

7. Poços de visita: são elementos localizados em pontos convenientes do sistema de galerias para permitirem as mudanças de direção, de declividade, de diâmetro, inspeção e limpeza das canalizações (TUCCI, 1997, figura 47).



**Figura 47: Corte esquema de um poço de visita**

**Fonte: MASCARÓ, 2005.**

8. Galerias: são canalizações usadas para conduzir as águas pluviais provenientes das bocas-de-lobo e das ligações privadas (TUCCI, 1997).

Como consequência pela impermeabilização do solo gerada na ocupação urbana, a parcela de água que era absorvida pelo solo passa a escoar pelas vias ou condutores, aumentando a velocidade da vazão e o escoamento superficial. A somatória da porcentagem de espaços impermeabilizados na malha urbana contribui para o aumento na frequência e na magnitude das enchentes. Esse processo, infelizmente não vem sendo contido, mas ampliado à medida que aumentam os limites urbanos, e o crescimento populacional se torna mais intenso.

#### **2.6.2.2 Novos conceitos de drenagem pluvial**

O conceito tradicional de drenagem não leva em consideração os seguintes aspectos:

“Primeiro: que o solo, quando não impermeabilizado, pode ter uma apreciável capacidade de absorção que pode ser aproveitada; segundo: que dentro da cidade, escolhendo áreas adequadas, podem-se criar reservatórios a céu aberto que permitam que a água da chuva seja despejada nas galerias e corpos de água em tempo maiores, diminuindo assim o impacto de águas muito intensas e, em geral, muito curtas. Os novos conceitos levam em consideração essa potencialidade.”

(MASCARÓ, 2005, p. 91)

De modo geral, as medidas não convencionais de drenagem urbana podem ser entendidas como estruturas, obras, dispositivos ou conceitos diferenciados de projeto, cuja sua utilização e aplicação não são disseminadas, e visam incrementar o processo de infiltração do solo. Estas soluções se diferenciam das tradicionais, porém podem estar associadas na adequação ou otimização do sistema de drenagem das águas (CANHOLI, 2005).

### 2.6.2.2.1 ABSORÇÃO DA ÁGUA PELO SOLO

A capacidade de absorção de um solo depende de variados fatores, entre eles: cobertura vegetal, tipo de solo, condições do nível freático e qualidade das águas de drenagem. Além dessas informações, também se deve conhecer as condições do nível freático para analisar a capacidade do terreno diante da disposição das águas drenadas. Sendo necessário conhecer a distância entre a superfície do terreno e a profundidade do lençol freático e por fim a variação do nível d'água ao longo do ano (CANHOLI, 2005).

**Tabela 3: Porosidade efetiva de solos/pavimentos**

<b>Tipo de solo/pavimento</b>	<b>Porosidade efetiva (%)</b>
Pedra britada	30
Cascalho e macadame	40
Cascalho (2-20mm)	30
Areia	25
Canaleta preenchida com cascalho	15 – 25
Argila expandida	5 – 10
Argila ressecada (crosta)	2 – 5
Siltes e argilas (abaixo da superfície)	0

**Fonte: URBONAS E GLIDDEN, 1982, apud CANHOLI 2005**

O solo natural possui uma capacidade de absorção da água da chuva, se arenoso pode chegar a quase 100% de absorção. Conforme aumenta a quantidade de argila no solo, a capacidade de absorção diminui. Da mesma forma, quando uma área passa a ser urbanizada, com edificações e pavimentações, o solo passa a ficar impermeabilizado, diminuindo a sua capacidade de absorção (MASCARÓ, 2005).

A tabela 04 mostra que cada tipologia de ocupação urbana e o tipo de solo do local, possuem uma taxa de infiltração. Taxa esta que pode variar de 2% a 98%. As áreas edificadas serão, normalmente, sempre impermeabilizadas. Pois, o coeficiente de absorção do solo, não depende do coeficiente de aproveitamento do terreno e sim, da taxa de ocupação do solo. A tabela mostra que em áreas urbanas com coeficientes de ocupação, relativamente pequeno, a absorção do solo pode chegar a 50% (MASCARÓ, 2005).

**Tabela 4: Taxas de infiltração das águas pluviais para diferentes tipos de ocupação, solo e pavimentação urbana.**

Tipo de urbanização	Taxa de infiltração
Edificação muito densa, áreas urbanas centrais com pátios ruas e calçadas	2 a 10%
Edificação medianamente densa, normalmente partes adjacentes ao centro, com jardins privados e ruas calçadas e arborizadas	10 a 30%
Edificação pouco densa, com recuos de jardim, jardins interiores, ruas pavimentadas e calçadas parcialmente gramadas	20 a 50%
Edificação de baixa densidade, tipo cidade jardim, grandes áreas gramadas calçadas predominantemente gramadas, ruas pavimentadas	40 a 70%
Subúrbios com edificação esparsa, lotes baldios, ruas sem pavimentação, praças com arborização, pouco impermeabilizadas	50 a 80%
Parques, campos de esportes, reservas florestais urbanas	70 a 98%

**Fonte: MASCARÓ, 2005**

#### **2.6.2.2.2 PAVIMENTOS PERMEÁVEIS OU POROSOS**

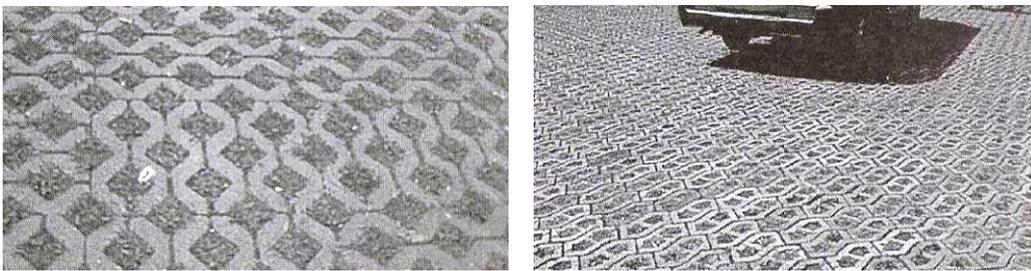
Segundo Canholi (2005), a utilização de pavimentos porosos está voltada ao controle das águas, promovendo a infiltração e a percolação das águas coletadas. Este controle pode ser aplicado em lotes residenciais e vias de circulação. O objetivo é reduzir os picos de vazões na rede de drenagem, possibilitando a recarga dos aquíferos e o possível aproveitamento das águas reservadas para diversos usos.

Em experiência realizada no Japão, onde em uma área experimental foram implantadas diversas medidas para infiltração das águas, as medições demonstraram que o sistema de infiltração reduziu cerca de 60% os picos de vazão e o volume total do escoamento em cerca de 50%, se comparadas ao sistema convencional, e com o custo final de 33% em relação ao custo de soluções de retenção em bacias abertas (CANHOLI, 2005).

Para Mascaró (2005), outra forma de pavimentação permeável é a com grama, ou pavimento de junta aberta, que requer espaços nos blocos, para que a vegetação cresça, podendo manter cerca de 50% da área permeabilizada, devido à presença da grama. Se aplicados nas áreas urbanas este é indicado para estacionamentos, pátios de manobras em áreas industriais, pátios de estacionamentos de supermercados e shopping centers, postos de combustíveis, acesso de veículos em áreas residenciais, etc. Para inúmeras cidades sua aplicação é importante para minimizar as enchentes periódicas e as altas temperaturas do perímetro urbano, além de embelezar a paisagem local.

A forma mais simples para formar uma superfície de infiltração é permitir que as águas escorram sobre um terreno coberto por vegetação. Se o terreno for de solo argiloso ou pouco permeável pode-se instalar subdrenos (valetas), para eliminar a água em locais que esta possa ficar parada (CANHOLI, 2005).

No Brasil, esta pavimentação é pouco utilizada. Porém, em centros urbanos onde as enchentes são uma realidade constante, poderia ser obrigatória a sua utilização pelas Prefeituras, como por exemplo, para pavimentar grandes áreas, condomínios, praças e parques. O seu inconveniente é que este revestimento necessita de manutenção periódica, pois funciona como um gramado (MASCARÓ, 2005).



**Figura 48: Exemplos de blocos de concreto com espaço para possibilitar uma pavimentação permeável.**

Fonte: MASCARÓ, 2005

Os pavimentos voltados ao tráfego de veículos, também poderiam ser revestidos com uma tipologia de piso permeável, como pedras colocadas à mão, blocos de concreto com grama, blocos de concreto, etc. O imprescindível para uma pavimentação com tal função é que esta seja a mais lisa possível, para a frenagem e velocidade, porém sempre mantendo o atrito para a eficiência do freio do veículo (MASCARÓ, 2005).

A substituição da tradicional pavimentação asfáltica pela pavimentação de blocos porosos pode ser realizada em áreas comerciais, edifícios, áreas de estacionamentos, etc, diminuindo a área que diretamente afeta a rede drenagem. É uma tipologia de pavimentação mais cara, por serem blocos de concreto perfurados para o plantio de grama, porém permite a infiltração das águas pluviais (TUCCI, 1997).

Os pavimentos permeáveis podem causar desconforto aos automobilistas e perturbar os moradores próximos à via pela poluição sonora emitida através do trepidar dos automóveis. Esta pavimentação também tem vida útil curta e sua permeabilidade é pequena. A figura 49 mostra uma via típica de Buenos Aires, Argentina, onde o leito carroçável foi executado em concreto e o conjunto guia-sarjeta em paralelepípedo. Uma

alternativa ainda melhor, seria para a faixa de estacionamento a colocação de blocos perfurados (MASCARÓ, 2005).



**Figura 49: Vista de uma rua do bairro de Palermo, em Buenos Aires (Argentina), com faixa de estacionamento em paralelepípedo.**

**Fonte: MASCARÓ, 2005.**

#### **2.6.2.2.3 BACIAS DE DETENÇÃO**

Os primeiros a utilizar as bacias de retenção como um sistema de drenagem foram os franceses e a partir de 1975, publicaram o “Manual d’urbanism pour lês pays em developpement”, que chama a acumulação de água como bacias de retenção com duas variações: bacias de acumulação seca e bacias de acumulação com lâmina d’água. Ou seja, a primeira perde toda a água acumulada em períodos de estiagem e a segunda, mesmo na estiagem mantêm uma lâmina mínima de água, podendo funcionar como um lago permanente (MASCARÓ, 2005, figura 50).

Para Canholi (2005), a principal finalidade dessa solução é promover a redução do pico das enchentes, pela diminuição da quantidade de águas nas tubulações e com a associação de outros usos, como recreação e lazer e, mais recentemente à melhoria da qualidade d’água. A figura 51, a seguir, contém a ilustração dos principais dispositivos que podem e são empregados seguindo o conceito conservacionista ou de reservação, e mostra os seus efeitos na redução dos picos de escoamento se comparado ao sistema que envolve as obras de canalização.

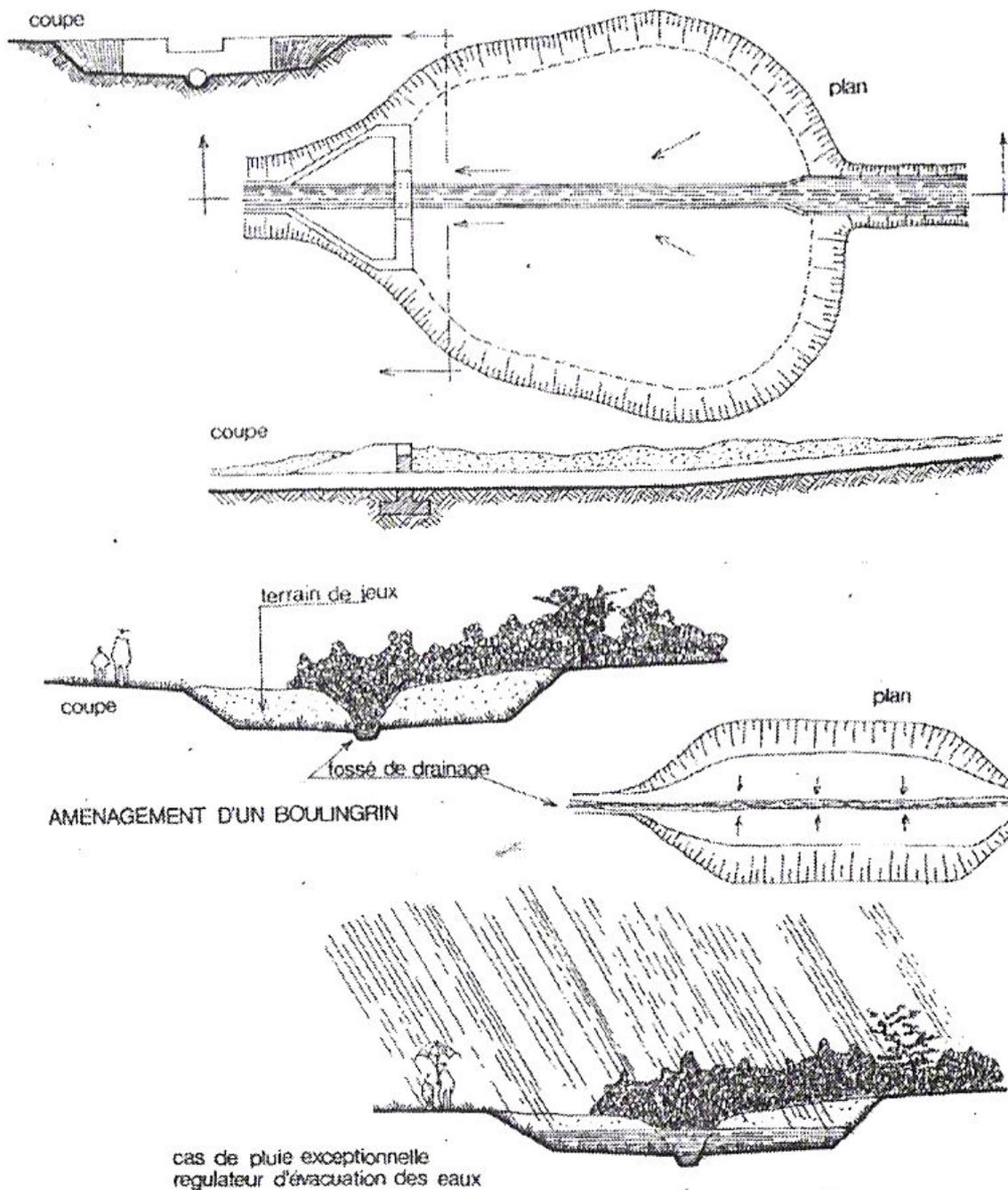
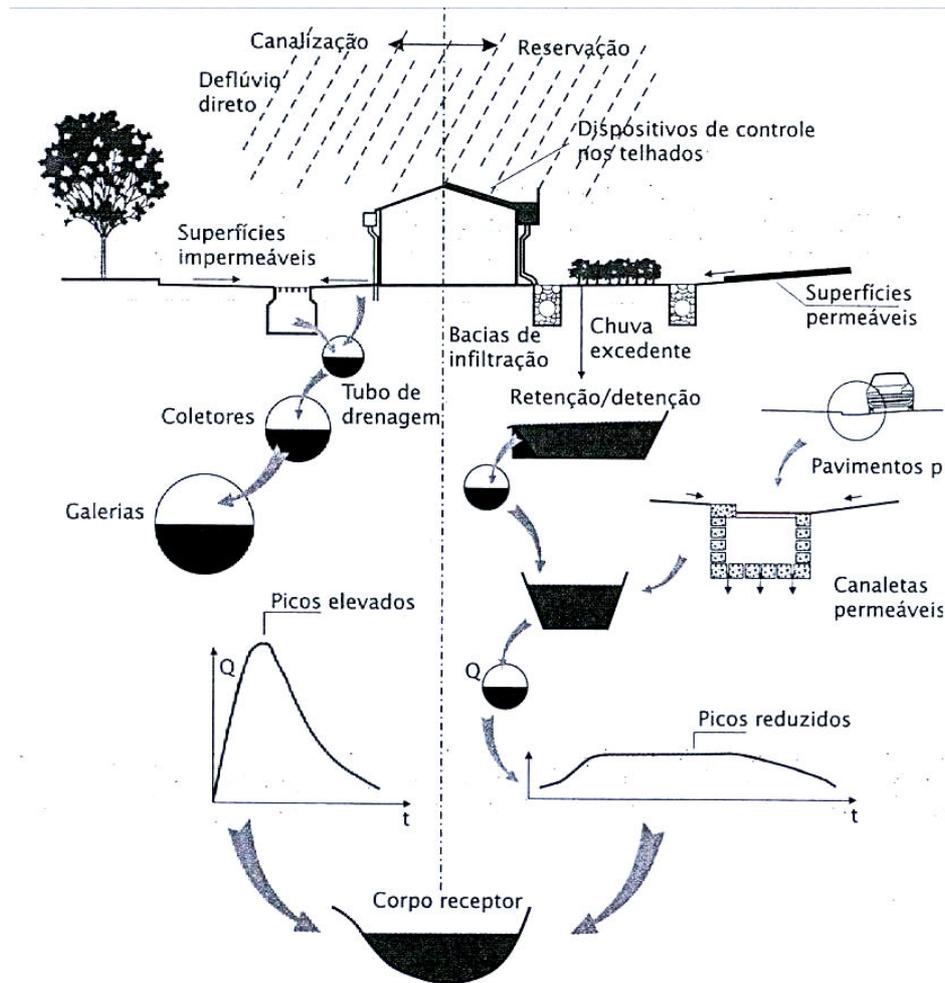


Figura 50: Bacias de retenção apresentadas pelos técnicos franceses, em 1983, França.

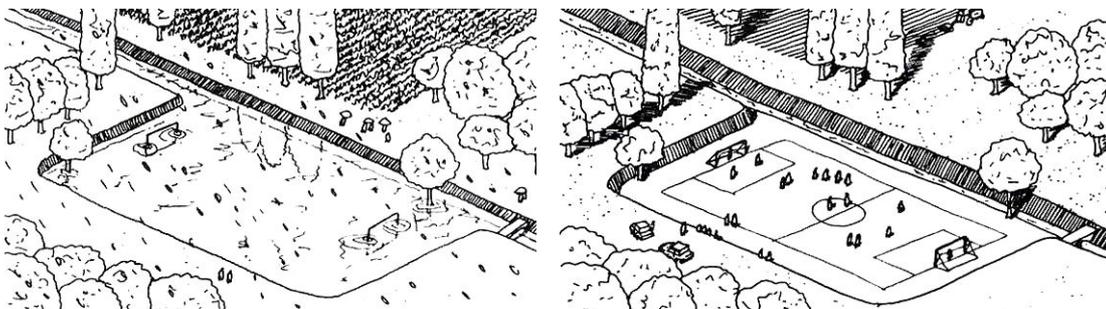
Fonte: MASCARÓ, 2005.



**Figura 51: Ilustração esquemática dos conceitos de reservação versus os de canalização**

Fonte: CANHOLI, 2005

As bacias de acumulação seca, também chamada de “piletão”, são as mais utilizadas no Brasil. A cidade de São Paulo construiu diversas destas próximas ao rio Pinheiros. Para muitos urbanistas esta não é uma boa alternativa, pois, no período de estiagem a área ocupada fica com o fundo lamacento e sujo, dificultando o seu uso alternativo, a menos que se tenha tratamento e manutenção especial (MASCARÓ, 2005, figura 52).



**Figura 52: Exemplo de bacia de acumulação seca**

Fonte: MASCARÓ, 2003.

As bacias de acumulação em água, que possuem a lâmina d'água geram uma paisagem mais agradável e tem menores custos de manutenção, podendo ser um atrativo para um parque (MASCARÓ, 2003). É uma alternativa interessante para o perímetro urbano, as bacias de drenagem integradas aos parques urbanos ou suburbanos, pois transforma o problema urbano em espaços agradáveis aos habitantes, como é o caso do Parque São Lourenço e o Parque Barigüi, em Curitiba, Paraná, dentre outros espalhados pelo país (MASCARÓ, 2005).

A utilização da reservação como drenagem urbana está se transformando em um conceito multidisciplinar, pois o aspecto paisagístico adquire uma fundamental importância, principalmente na viabilização dessas obras. A aceitação da população para tal tipo de obra, mostra a relação do sucesso da implantação destes conceitos em espaços de áreas verdes e de lazer (CANHOLI, 2005).

Conforme Canholi (2005), as obras de reservação podem ser classificadas como bacias de retenção e bacias de detenção, podendo ser entendidas como:

- Bacias de retenção: são reservatórios de superfícies que sempre possuem um volume substancial de água permanente, possuindo finalidades recreativas, paisagísticas, abastecimento de água, etc. O seu nível d'água irá elevar-se temporariamente conforme os períodos de chuvas e de cheias.
- Bacias de detenção: são áreas que ficam normalmente secas durante a estiagem, mas são projetadas para reter as águas superficiais durante ou após as chuvas. O tempo da detenção está ligado apenas aos picos máximos de vazão requeridos a jusante e com os volumes armazenados.

Nos últimos anos uma nova alternativa é a criação de uma pequena bacia de estocagem das águas das chuvas no interior dos lotes. Esta bacia seria uma espécie de caixa, com uma boca de entrada para receber toda a água e para posteriormente encaminhá-las às ruas e ao sistema público de drenagem de forma lenta. Esta captação pode ser realizadas com as águas que caem sobre os telhados e utilizadas onde não seja necessário a potabilização da água, como vaso sanitário, lavagem de carros, rega de jardins, lavagem de calçadas, etc. Estas ações melhoram o sistema de drenagem pluvial urbanos, além de diminuir sensivelmente o consumo de água potável da rede, gerando economias, tanto aos usuários quanto para os sistemas urbanos de infra-estrutura (MASCARÓ, 2005).

### 3 DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO

---

Neste capítulo expõem-se o estudo efetuado desde a idéia, a concepção e o desenvolvimento do produto, piso ecológico, proposto nesta pesquisa. Este estudo inclui a concepção de produto, estudos de forma e dimensões, viabilidade e pesquisa de mercado.

“Mas o que é idéia? Algo entre magia e a filosofia.”  
STANLEY WHITE

#### 3.1 CONCEPÇÃO DE PRODUTO E A IDÉIA DO PISO ECOLÓGICO

Segundo Munari (1998), saber projetar é fácil, pois tudo se torna fácil quando se conhece a maneira de proceder para solucionar o problema, desde os problemas que representam ser simples de resolver até os que aparentam ser impossíveis. Por isso, ao aprender a enfrentar e resolver os pequenos problemas, também resolvem-se os grandes.

O mesmo autor diz que o método de projetar não muda muito. O que ocorre é que ao invés de resolver o problema sozinho, passa a ser necessário trabalhar em equipe, com especialistas e colaboradores em uma equipe interdisciplinar, para adaptar o método. Assim, criatividade não significa improvisação sem um método determinado, mas esta ligada à uma série de etapas de projeto a serem cumpridas, tornando-se instrumentos no domínio de um projetista criativo.

Antonio Rebolini (apud MUNARI, 1998, p.29) disse: “Quando um problema não pode ser resolvido, não é um problema. Quando um problema pode ser resolvido, também não é um problema”. Porém, é necessário saber distinguir se o problema tem ou não solução, e para isso é preciso ter conhecimento, técnica, experiência, etc.

“O problema do *design* resulta de uma necessidade” diz Archer (1967, apud MUNARI, 1998, p. 30). As pessoas sentem a necessidade de ter algo que melhore ou solucione o problema da qualidade de vida, seja este um carro mais econômico, uma geladeira mais econômica, um aspirador de pó que não faça barulho, etc. Esses problemas podem ser identificados pelo *designer* ou proposto por uma indústria.

##### 3.1.1 A idéia do Piso Ecológico

“Os problemas significativos com que nos deparamos não podem ser resolvidos utilizando o mesmo nível de abstração utilizado quando foram criados pela primeira vez.”  
ALBERT EINSTEIN (apud OLIVEIRA, 2003, p.91)

Um designer, arquiteto ou outro profissional da área da construção civil e urbanismo, busca na necessidade da população a inspiração para iniciar a idéia de desenvolvimento de um produto. Nesta pesquisa a inspiração surgiu através das notícias, que a mídia impressa e eletrônica retrata sobre a realidade de muitas famílias do perímetro urbano, que perdem parcialmente ou integralmente tudo que possuem em decorrência de uma chuva torrencial que gera enchentes urbanas periódicas. Assim, pensou-se que os órgãos públicos e mesmo privados, podem ter em mãos a opção de minimizar este impacto, através de uma tipologia de pavimentação que auxilie na percolação das águas pluviais.

Para Kaminski (2000, p.96), a resposta de se projetar para a natureza vem da dependência do ser humano pelo meio ambiente. Quando a sociedade era primitiva o resíduo gerado pelo homem poderia ser reabsorvido pela própria natureza. Com o crescimento da população e o conseqüente aumento do lixo e do esgoto, tornou-se impossível a reciclagem ou o reaproveitamento desses dejetos pela natureza. Para uma visão empresarial o reaproveitamento de produtos e a preocupação com o meio ambiente representam um diferencial no mercado econômico. Por exemplo, “um produto poluidor pode baixar as suas vendas ao ponto de inviabilizá-lo economicamente”.

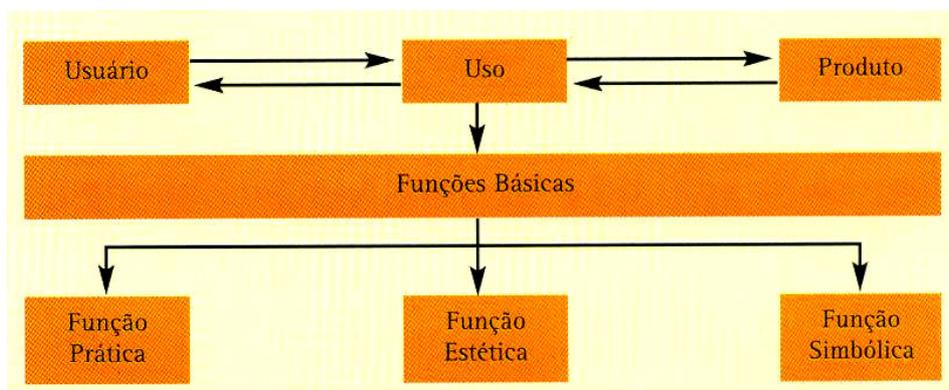
As motivações para se projetar voltadas ao meio ambiente são: economia voltada ao reuso da água, energia e outros insumos; melhoria da imagem institucional; melhoria das relações com os órgãos governamentais, comunidade e grupos ambientalistas; aumento da contribuição marginal de “produtos verdes” (esses produtos podem ser vendidos a preços mais altos com a aceitação do mercado); linhas de novos produtos para novos mercados; maior comprometimento do pessoal pela causa ambiental (KAMINSKI, 2000).

Contudo, estudou-se sobre conforto ambiental e sustentabilidade, o que evoluiu a idéia para uma pavimentação que atenda também a estes tópicos. Portando, a criatividade nos leva a busca por uma tipologia de pavimentação autodrenante, para captar as águas pluviais com a intenção de reabastecer o lençol freático e com isso, diminuir o escoamento superficial e minimizar a ocorrência de enchentes periódicas. Além de auxiliar o meio ambiente, utilizando materiais que possam ser reutilizados para um fim positivo, para que este deixe de degradar o meio ambiente, não mais estando presente nos aterros sanitários.

Para GOMES FILHO (2006), um produto deve ter um diálogo do seu uso com o Homem. Pensando assim, deve-se refletir sobre as particularidades do produto. Sobre seus aspectos que atendam as funções básicas quanto à percepção e compreensão, durante o processo do uso do objeto para satisfazer as diversas necessidades das pessoas. As funções básicas

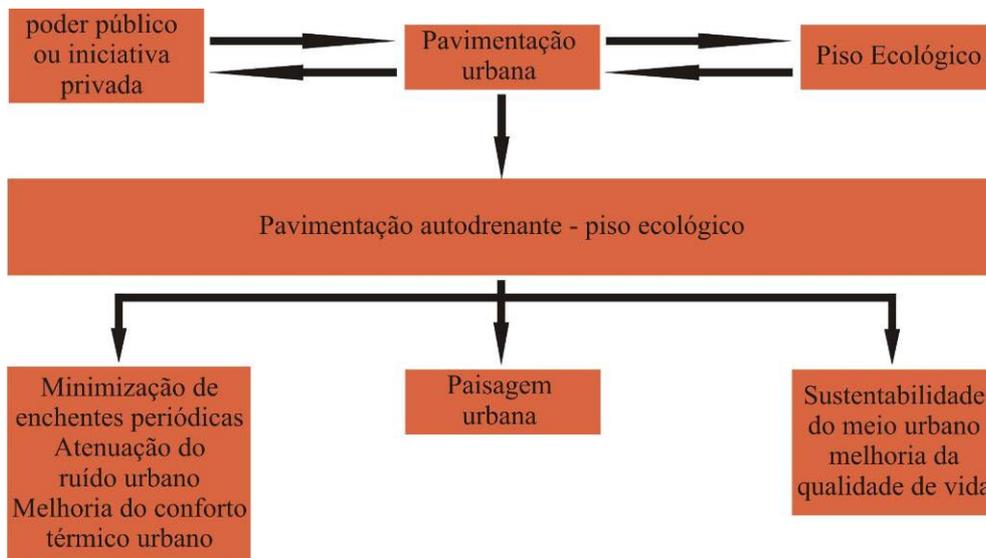
podem ser classificadas em três categorias sendo elas: função prática, função estética e função simbólica (quadros 53 e 54).

A função prática está ligada à relação do produto e o usuário embasado nos efeitos diretos orgânicos-corporais. A função estética é o aspecto psicológico da percepção sensorial com o uso. A função simbólica é determinada pelos aspectos espirituais e psíquicos do uso do objeto (LÖBACH, 2001). É importante destacar que pode haver a predominância de uma função sobre as outras duas. Isto ocorre, pela priorização da função básica como sendo a mais importante para o produto, porém a função prioritária não deixa de interagir com as outras.



**Figura 53: Quadro relação usuário-produto**

Fonte: GOMES FILHO, 2006, p.41



**Figura 54: Quadro relação usuário-produto, voltado ao piso ecológico**

Fonte: GOMES FILHO, 2006, adaptado pelo autor.

A criatividade é a alma do *designer*, em todas as etapas do projeto. O projeto mais desafiador é aquele inovador, a criação de algo realmente novo, não existente no mercado. Porém, na maior parte do tempo os *designers* redesenham produtos existentes, alargam linhas de produtos, aperfeiçoam produtos, etc., o que não deixa de ter sua importância (GOMES FILHO, 2006).

Hoje, com a competição do mercado baseada em preços está mais difícil vender produtos. O que resta é a arma de usar o *design* para promover a diferença entre os produtos. Aqui é necessário ousar, agregar diferenças para despertar a atenção e percepção do consumidor. Diferenças estas que o consumidor se disponha a pagar e isso requer criatividade, em todos os momentos do desenvolvimento, desde a identificação da oportunidade até o projeto da sua fabricação (GOMES FILHO, 2006).

A frase de Thomas Edison tem muita verdade: “criatividade é 1% de inspiração e 99% de transpiração”. A inspiração não surge do nada, ela é uma resposta da necessidade de solucionar um determinado problema. E a criatividade é o resultado de associações, combinações, visão sob um ângulo de idéias existentes. Para BAXTER (2003, p. 53) “uma grande idéia não surge no vácuo, mas quando houve um esforço consciente na busca da solução”.

Em 230 a.C., o tirano governador de Siracusa, Heitor, entregou uma coroa de ouro a Arquimedes, pois desconfiava que a coroa houvesse sido adulterada com prata, e o desafio de Arquimedes era testá-la. Arquimedes pensou em inúmeras maneiras de medir o volume da coroa, mas formas complexas da coroa decorada com filigranas dificultavam a medição do seu volume. Então, Arquimedes foi banhar-se refletindo sobre o seu problema, e ao entrar na banheira, a solução se tornou evidente, pois ao entrar na banheira a água se deslocou e o seu nível subiu. Assim, para medir o volume da coroa bastava mergulhá-la e medir o volume da água deslocada. Livros de história relatam que Arquimedes saiu nu pelas ruas, gritando *Eureka! Eureka!* – Achei! Achei! (BAXTER, 2003).

### **3.2 O PROBLEMA E OS CAMINHOS PARA SUA SOLUÇÃO**

A capacidade do homem em interferir no ecossistema urbano tornou-se alarmante estabelecendo ou balizando pesquisas na área do desenvolvimento sustentável. Ações mitigadoras que auxiliem a recomposição do meio ambiente são fundamentais no equilíbrio do planeta. Com essas afirmações finalmente estabelece-se o horizonte deste

trabalho. Tentar-se-á auxiliar o processo de urbanização para que este não agrida de maneira aguda o meio ambiente e possibilite a população uma melhoria no conforto termo-acústico e na drenagem pluvial do meio urbano.

Com este intuito a pesquisa trata de estudar o desenvolvimento de um produto que tenha a incorporação de material reciclado no processo de fabricação, com a esperança de que o produto final, piso ecológico, possua características (térmicas, acústicas e drenantes) que possa mitigar alguma das problemáticas que são geradas para as cidades decorrentes do processo da urbanização.

Conforme BAXTER (2003), todo desenvolvimento de produto deve estar aliado à criatividade do Designer, composta de princípios de estilos com regras de percepção visual, gestalt, seção áurea, efeitos sociais e culturais, etc.

O desenvolvimento do produto aqui proposto agrega valores estéticos e principalmente técnicos, pois a função caminha ao lado da estética. Os aspectos técnicos devem ser avaliados após a concepção do produto, sua forma, e modelo base para a realização dos testes.

A primeira idéia esta ligada ao desenvolvimento de uma tipologia de pavimentação tipo paver ou broquete, para compor um piso que possua diversas aplicações desde um simples revestimento de calçadas até o revestimento de praças, que suportem o trânsito de pedestres. Espera-se ainda a descoberta de propriedades acústicas e térmicas que possibilitem um aumento do conforto ambiental nos espaços urbanos.

Para Munari (1998), um problema não se resolve sozinho, mas ele possui todos os caminhos para a sua solução, faz-se então necessário conhecê-los e utilizá-los no projeto de sua solução. Supondo que o problema abordado seja o desenvolvimento de uma luminária de mesa, de parede ou de escritório, de sala de estar ou de mesa de cabeceira. É preciso pensar se esta será incandescente ou fluorescente, de luz diurna ou qualquer outra luz, se o preço será um limite, se será distribuída em grandes lojas, será desmontável ou articulável, possuirá um termostato para regular a intensidade luminosa, e assim sucessivamente observar todas as possibilidades de agregar características para um determinado produto.

O fluxograma abaixo (figura 55), desenvolvido por Munari (1998) e adaptado para esta pesquisa, apresenta as etapas para a solução do problema proposto, ou seja, para a solução do desenvolvimento de produto, o piso ecológico.

## Fluxograma para solução do problema



Figura 55: Fluxograma para o entendimento do problema – desenvolvimento do piso

Fonte: AUTOR, adaptado de MUNARI, 1998

### 3.3 BASES CONCEITUAIS

#### 3.3.1 Aparência Estético-Formal

“Estética é a ciência das aparências percebidas pelos sentidos (por exemplo, estética do objeto), de sua percepção pelos homens (percepção estética) e de sua importância para os homens como parte de um sistema sociocultural e, ainda, considerando-se a teoria da produção estética do homem”.

LÖBACH, 2001, p. 96

Conforme o que diz Baxter (2003, p.25) “estilo de um produto é a qualidade que provoca a sua atração visual”. A forma visual de um produto pode ser feia, desequilibra ou grosseira, mas esta pode ser modificada para algo belo, que passa a ser admirada por todos os que a olhem. Toda a sociedade, desde consumidores particulares até o governo, aceita que a forma é um valor agregado ao produto. Isso não significa que um produto deva ter mudanças no seu funcionamento técnico e nem sempre o estilo precisa ser vistoso, muito elaborado ou que tenha um custo elevado. Não se pode esquecer que “um bom estilo é sempre uma arte”.

Como exemplo do conceito acima apresenta-se o espremedor de limão em alumínio, denominado Juicy (figura 56), desenvolvido pelo designer Philippe Starck. Muitos o consideram um gênio do século 20, pela sua criatividade de modificar objetos da vida cotidiana em “obras de arte” com o intuito de transformar os simples produtos em produtos de beleza, sem comprometer a sua qualidade. “Quero tornar as pessoas mais felizes melhorando o seu dia-a-dia”, diz Starck, que acredita que a arquitetura e o design exercem uma influência real sobre as pessoas, podendo ajudá-las a viver melhor (SUPPA, 2008).



**Figura 56: Espremedor de limão, em alumínio, do designer Philippe Starck**

**Fonte: SUPPA, 2008**

Para Baxter (2003), existe a atração chamada bissociativa, esta descreve a natureza do humor, de algo inusitado ou absurdo. O espremedor, citado acima, é um exemplo deste tipo de associação, pelo seu corpo alongado e limpo, sustentado em três pernas fazendo lembrar um inseto exótico ou uma espaçonave extraterrestre, e as ranhuras no seu corpo remetem um espremedor de limão convencional. As pessoas esboçam um sorriso, diante do choque com a peça. Isso requer certa sensibilidade e sutileza, pois todo humorista sabe que existe uma linha tênue entre o atrativo e engraçado, do mau gosto e do ridículo.

Para Gomes Filho (2006), a base conceitual do desenvolvimento de produto refere-se à Aparência Estético-Formal e tem relação com os atributos do exterior e do estilo da forma visual do produto. Este é o aspecto psicológico da percepção sensorial que um objeto desperta de forma indireta. Para este desenvolvimento o designer precisa ter uma bagagem cultural, conceitual e técnica de modo a solucionar de maneira adequada e criativa a aparência estética do objeto, pois isto vai muito além do “gosto” pessoal do projetista.

### **3.3.2 Princípios do Estilo**

O desenvolvimento de um produto começa na relação design-produto-usuário. Assim, o valor estético também se favorece das normas socioculturais das pessoas ou dos grupos sociais, que influenciam no estilo ou aparência do objeto. Existem notáveis diferenças entre os valores culturais e econômicos dos grupos e dos indivíduos, como exemplo, dos que vivem nos centros urbanos de grandes cidades comparado aos que vivem na periferia (GOMES FILHO, 2006).

Para Baxter (2003, p.25) “o estilo de um produto é a qualidade que provoca a sua atração visual”. E essa é uma habilidade básica que os designers devem possuir, sejam nos desenhos esquemáticos, desenhos de acabamento e na execução dos modelos. Quando se fala de um produto atrativo, não se fala no som, cheiro ou no paladar, e sim, na percepção humana, ou seja, no estilo visual que predomina sobre os outros sentidos. A atratividade de um produto depende basicamente do seu aspecto visual.

O estilo é definido como uma qualidade intrínseca do produto, podendo chamar a atenção provocando uma atração agradável e uma admiração imediata, agregando uma série de valores ao produto, inclusive, conforme a sua natureza, valores de ordem sensível e emocional que toquem o usuário. “Semanticamente, o estilo pode denotar ou conotar variadas mensagens e significados diversos, sobretudo por meio da função simbólica” (GOMES FILHO, 2006, p. 99).

### 3.3.2.1 Percepção visual de produtos

Para Iida (2005), a sensação e a percepção são etapas de um mesmo fenômeno que envolve a captação de um estímulo. A sensação é o processo biológico de captação de energia ambiental por células nervosas dos órgãos sensoriais, sob forma de luz, calor, pressão, movimento, partículas químicas e etc. Para haver uma sensação, é preciso que a energia ambiental esteja dentro do limite do limiar. Quanto mais intenso for o estímulo mais facilmente ele será detectado e mais rapidamente será respondido. Cada tipo de impulso captado pela sensação é transmitido para uma área específica do sistema nervoso central.

O processamento das informações que geram o estímulo sensorial é denominado de percepção. Os estímulos são recebidos organizados e integrados em informações com significados. Para isso são usadas informações antes já armazenadas na memória para converter as sensações em significados, relações e julgamentos. A percepção envolve processamento, e está ligada à recepção e reconhecimento de informações, comparando com uma informação antes armazenada na memória. Assim, a mesma sensação pode gerar diferentes percepções em diferentes pessoas, encaminhando-as a diferentes tipos de decisões (IIDA, 2005).

O processamento visual possui dois estágios, segundo Baxter (2003). Num primeiro momento é realizada uma varredura visual na imagem, a fim de reconhecer as suas formas e padrões, chamada de pré-atenção. Depois há uma varredura mais detalhada na imagem, com uma atenção visual. Na ilustração (figura 57), percebe-se, de relance, algo diferente na parte superior direita, a pré-atenção, não sendo o observador capaz de dizer o que há de diferente. Na segunda fase, a atenção, identifica o retângulo em negrito com as letras, linhas e colunas, até notar que a letra no canto inferior esquerdo também está em negrito.



**Figura 57: Pré-atenção**

Note que há algo diferente na parte superior direita da figura

**Fonte: BAXTER, 2003**

As sensações e as percepções fazem parte do mesmo fenômeno. Quando se fala de percepção, a sua fase preliminar é a sensação, dentro de um processo contínuo onde o cérebro recebe e processa as informações de um ambiente. Isso ocorre em micro-segundos e nem sempre é um processo consciente, também pode ser automático (IIDA, 2005).

Assim, a fase inicial da percepção é a pré-atenção, quando algo diferente em um espaço chama a atenção. É nesta fase que características globais são identificadas, como a forma, a cor e os movimentos, que pode de algum modo despertar o interesse de um observador. A segunda fase é a atenção, onde se focam os sentidos nos aspectos mais interessantes, antes identificados pela pré-atenção. O reconhecimento ocorre como uma comparação das informações com as outras armazenadas na memória do observador da imagem (IIDA, 2005). É a partir dessa propriedade que o design pode “chamar a atenção e depois prender a atenção” (BAXTER, 2003, p. 27).

Também há a hipótese visual, esta ocorre quando nos deparamos com informações ambíguas ou incompletas. O homem, neste caso, constrói em sua mente uma imagem visual ao se deparar com uma figura. Por exemplo, a figura 58 consiste em um conjunto de manchas, dentre essas manchas algumas pessoas identificam um cachorro dálmata. Na imagem ao lado, o observador tende a completar o elemento, o triângulo. Uma vez identificado, esse padrão se torna uma forte imagem da figura, ocorrendo depois que a mente formou a hipótese visual do cachorro (BAXTER, 2003).



**Figura 58: Cachorro dálmata nas manchas e um triângulo inexistente, respectivamente**

**Fonte: BAXTER, 2003**

Contudo, segundo Baxter (2003) ao se falar da forma ou da imagem de um produto esta se refere à percepção global do mesmo. A beleza de um produto se relaciona com as propriedades do sistema visual, de algo peculiarmente belo no objeto. Então, a beleza não está ligada somente ao produto, mas também aos olhos e a mente de quem o observa.

### 3.3.3 Regras gerais de percepção

“Amar e criar a beleza são as condições elementares da felicidade. Uma época que não o almeja permanecer imatura visualmente; sua imagem é disforme, suas manifestações artísticas não são capazes de elevar-nos”.

WALTER GROPIUS (apud GOMES FILHO, 2000, p.05)

Conforme Baxter (2003), um grupo de psicólogos alemães formulou a teoria da Gestalt na década de 1920 a 1940. A gestalt significa padrão, e assim, esses psicólogos sugeriram que a visão humana possui uma predisposição para reconhecer determinados padrões.

Para Gomes Filho (2000), a gestalt fala do fenômeno da percepção e então o que acontece no cérebro é diferente do que acontece na retina. O cérebro não fornece uma pontuação isolada, mas sim o entendimento do conjunto, ele unifica a forma, de modo a direcionar a visão não de maneira isolada, mas nas relações do todo.

“O postulado da Gestalt, no que se refere a essas relações psicológicas, pode ser assim definido: todo o processo consciente, toda forma psicologicamente percebida está estreitamente relacionada com as forças integradoras do processo fisiológico cerebral. A hipótese da Gestalt, para explicar a origem dessas forças integradoras, é atribuir ao sistema nervoso central um dinamismo auto-regulador que, à procura de sua própria estabilidade, tende a organizar as formas em todos coerentes e unificados”.

(GOMES FILHO, 2000, p. 19)

Segundo Baxter (2003), provavelmente a regra mais forte da gestalt é a **simetria**. O homem possui grande habilidade em descobrir formas complexas, pois ao olhar um objeto de diferentes ângulos, não terá muita dificuldade em dizer se este objeto é simétrico ou não. Relacionada à simetria está a regra das **formas geométricas**, que demonstra a facilidade de se identificar as forma geométricas mais simples do que as irregulares e complicadas, podendo ser uma consequência da habilidade de identificar a simetria.

Faz-se necessário, para Gomes Filho (2006), recordar que ligado ao conceito estético-formal do objeto, a organização visual possui um importante papel, de modo, que o designer deve articular os conceitos com o atributo formal com a melhor qualidade de um padrão estético. Para a conquista deste objetivo estão alinhados alguns requisitos: figura e organização visual, material, superfície e cor.

- Figura e Organização Visual: O conceito central da estética de um objeto é a forma, que também ligada ao produto industrial. A configuração de um produto industrial é influenciada pelo tipo de estrutura formal, o que pode levar a exteriorização em forma de aceitação, rejeição ou neutralidade da percepção de um produto, e assim,

saber o modo trabalhar para buscar o efeito desejado perante os diversos usuários do produto (LÖBACH, 2001).

A organização visual alinhada aos princípios da gestalt como harmonia, equilíbrio, pregnância visual<sup>19</sup>. Com destaque nas configurações simples e despojadas criando um elemento de unidade simples e de fácil identificação (GOMES FILHO, 2006).

Os produtos industriais com uma disposição agradável de seus elementos componentes alavancam as vendas da empresa, pela vantagem de atrair a predileção dos interessados sobre tais produtos (LÖBACH, 2001).

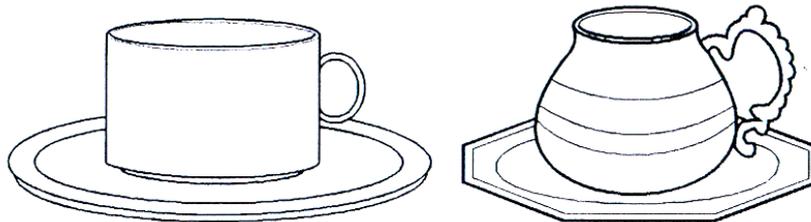
- Material: O uso dos materiais no processo de fabricação esta atrelado ao valor econômico do produto final. Com a utilização do material mais adequado se alcança o critério principal do uso econômico (LÖBACH, 2001). A especificação adequada dos materiais está ligada aos fatores funcionais, estruturais e técnicos (GOMES FILHO, 2006).
- Superfície: A natureza da superfície dos produtos industriais possui grande influência sobre o efeito estético desejado, e na maioria das vezes depende do material escolhido (LÖBACH, 2001). A superfície está aliada ao partido estético-formal na definição dos acabamentos e tratamentos das superfícies, áreas transparentes e/ou opacas, brilhantes ou foscas, texturas especiais, pinturas, etc (GOMES FILHO, 2006).
- Cor: um dos elementos essenciais da figura é a cor. A cor pode atingir a psique do usuário do produto, como produtos configurados com cores fortes podem oferecerem ao usuário vantagem ao se destacar no ambiente em que será inserido. Os produtos de uso mais frequentes são oferecidos no mercado com cores neutras e vivas, simultaneamente (LÖBACH, 2001).

O uso da gestalt é importante na determinação da forma pela harmonia por ela explicada, podendo ser explicada pela combinação das regras de simplicidade com as de padrões

---

<sup>19</sup> Conforme Gomes Filho (2000, p.36 e 37), a pregnância é a Lei Básica da Percepção Visual da gestalt e é definida por “qualquer padrão de estímulo tende a ser visto de tal modo que a estrutura resultante é tão simples quanto o permitam as condições dadas” e “quanto melhor for a organização visual da forma do objeto, ..., facilidade de compreensão e rapidez de leitura ou interpretação, maior será o seu grau de pregnância”.

visuais. Existem muitos produtos soltos ao mercado que possuem uma coerência visual, sendo fácil demonstrar que isso ocorre quando há uma violação das leis da gestalt. O exemplo, da figura 59 que traz duas xícaras, a da esquerda com uma forma geométrica simples, que lhe confere o senso de harmonia visual, e em contraste com formas geométricas diversas, da xícara da direita, que pede tal harmonia (BAXTER, 2003).

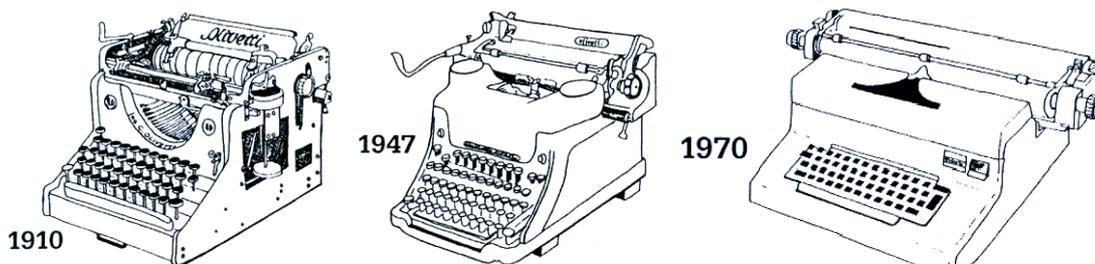


**Figura 59: A harmonia visual pode ser construída com a repetição de formas geométricas semelhantes**

**Fonte: BAXTER, 2003**

A simplicidade visual dos produtos é o principal resultado da influência da teoria do gestalt diante a escolha do estilo dos produtos. Seguindo a principal das leis da gestalt, os produtos devem ser simétricos e ter uma linha simples, aproximando-se das figuras geométricas. Buscando assim, um design minimalista. Para Dietes Rams, “as formas complicadas e desnecessárias nada mais são do que cochilos dos designers” (apud BAXTER, 2003, p.33).

A figura 61 mostra a evolução da máquina de escrever desde o início do século. Observando as imagens nota-se que a de 1910 possuía uma elevada complexidade visual, progressivamente reduzida pelo modelo de 1947 com linhas mais harmoniosas. Já a versão de 1970, possui linhas limpas, formas geométricas mais puras, o que demonstra uma tendência de simplicidade visual aplicada a muitos outros produtos, evoluindo de louças (como relatado anteriormente) a automóveis (BAXTER, 2003).



**Figura 60: A tendência à simplicidade no desenho de máquina de escrever**

**Fonte: BAXTER, 2003**

### 3.4 FORMA E DIMENSÃO DO PISO ECOLÓGICO

O elemento mais importante de uma figura é a forma, na qual se pode distinguir dois tipos: forma espacial e forma plana. A forma espacial é a forma tridimensional de um produto, determinada pela sua superfície (côncava-convexo). A forma plana é obtida pela projeção de um produto sobre um plano, ou seja, pelo seu contorno, sendo uma forma que parece constante mesmo se observada de diferentes pontos ao seu redor (LÖBACH, 2001).

Ao se analisar o fato de que o piso ecológico estará inserido na paisagem urbana. Isso leva a interpretação de que a apreciação da cidade, das árvores, da natureza, das construções, entre outros elementos são mais importantes do que o destaque da superfície horizontal do solo. Assim, tem-se uma busca pela forma do piso para que este tenha linhas discretas, não sobressaindo aos olhos dos transeuntes, mesmo sabendo que o destaque se faz necessário quando voltado à acessibilidade.

Assim, o piso ecológico se volta para uma forma plana, geometricamente pura e regular, pensada na modulação dos passeios públicos, sejam eles comerciais ou residenciais. Conforme Terence Conran (1985) acredita “as coisas mais simples são melhores que as vistosas e complicadas porque elas são mais agradáveis” (apud, BAXTER, 2003, p.33).

Estudando as regras da percepção descobriu-se que o Homem possui uma habilidade em particular de perceber as expressões faciais, teoria que pode ser exemplificada pela evolução sofrida pelo ratinho Mickey e pelo ursinho Teddy, dos desenhos animados. No início dos desenhos do Mickey, na década de 30, ele possuía as típicas características de um roedor, sendo transformado até a sua versão moderna. O ursinho Teddy seguiu a mesma tendência, desde 1900 quando criado, a cabeça do ursinho sofreu modificações para se aproximar das feições infantis, atendendo ao gosto dos consumidores, como mostra a figuras 61 e 62 (BAXTER, 2003).

As características faciais se projetam em outros produtos. Então surge a pergunta: será que temos alguma preferência por formas naturais ou orgânicas? Se a resposta for sim, fica a dúvida, qual? Fibonacci, um matemático italiano, no século 13, descobriu uma série matemática que explica um pouco dessa preferência do homem (BAXTER, 2003).

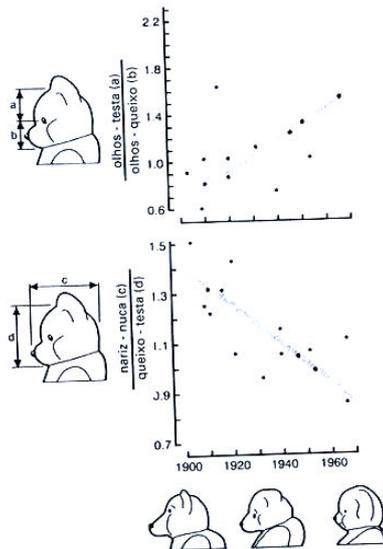


Figura 61: Evolução das proporções faciais do ursinho Teddy desde 1900

Fonte: BAXTER, 2003

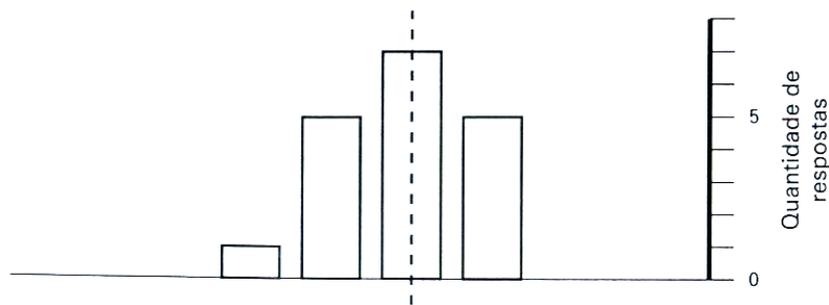


Figura 62: Preferência das pessoas pela Razão Áurea

Fonte: BAXTER, 2003

Se a série chegar à casa dos milhares começa a surgir um padrão consistente. A razão entre dois números consecutivos torna-se constante. Por exemplo, observando a figura 63 se pode constatar que o comprimento da linha A é 0,618 do comprimento da B, e assim por diante. Então, o significado dessa constante é a chamada de **razão áurea ou seção áurea**, e representa o modo matemático perfeito de dividir uma linha em duas porções (BAXTER, 2003).

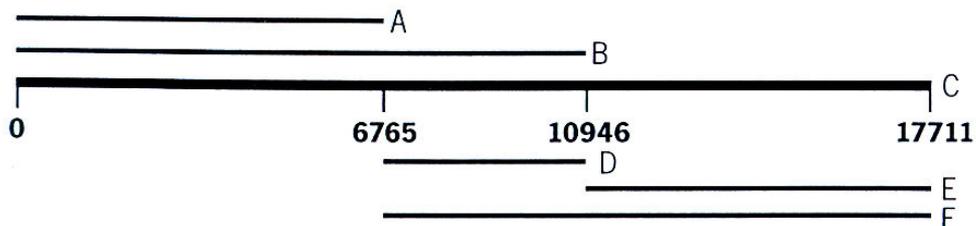
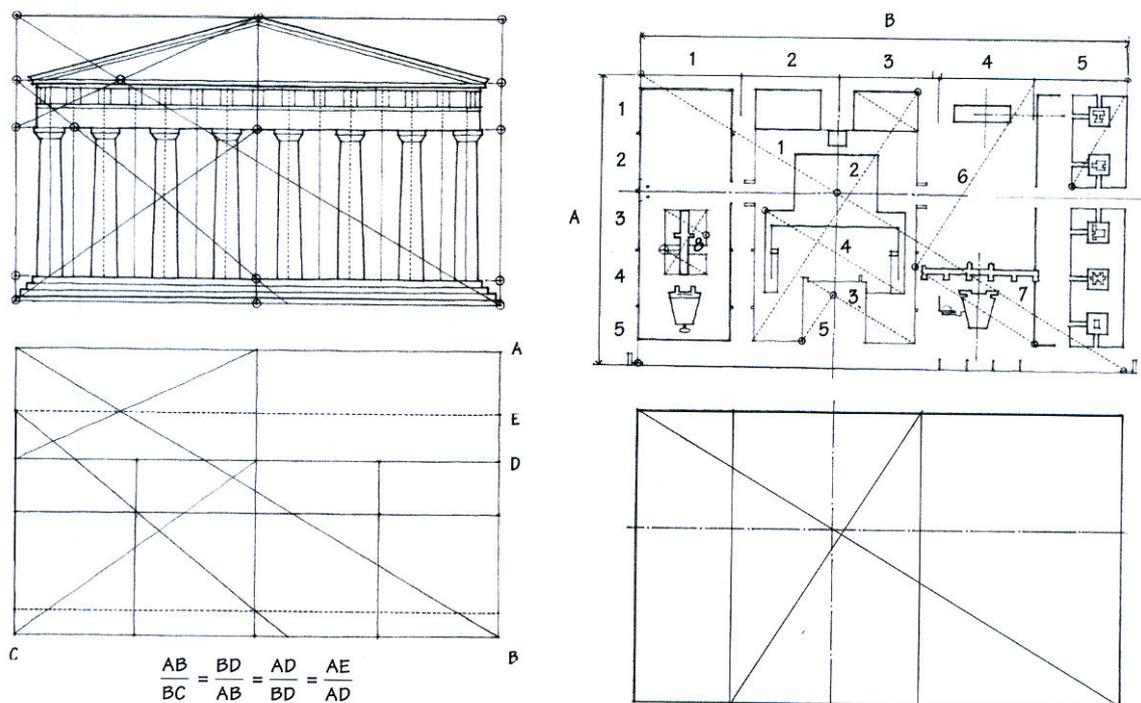


Figura 63: Há uma razão constante entre os termos da série Fibonacci

Fonte: BAXTER, 2003

### 3.4.1 Seção Áurea

Do conceito pitagoriano se originam os sistemas matemáticos de proporção, onde “tudo é número” e essas as relações numéricas manifestam a estrutura harmônica do universo. Uma dessas relações de proporção que é utilizada desde a Antiguidade é conhecida como Seção Áurea, utilizada pelos gregos que reconheceram as proporções do corpo humano, utilizando-as nas proporções das estruturas dos seus templos (figura 64). Os arquitetos renascentistas também utilizaram este sistema de proporção e, nos tempos mais recentes, Le Corbusier baseou seu sistema modulator (figura 07) na secção áurea e o seu uso na arquitetura permanece até hoje (CHING, 1998, p. 286).

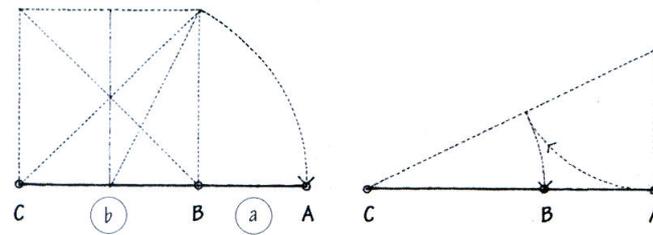


**Figura 64:** O Partenon, Atenas, 447-432 a.C.; Museu Mundial (projeto), Genebra, 1929, Le Corbusier.

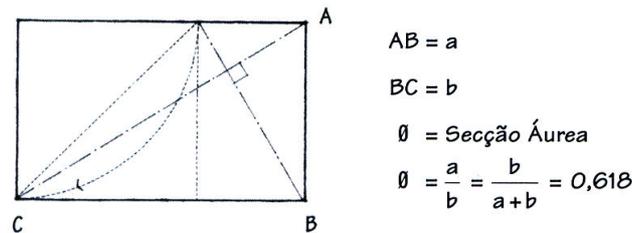
Fonte: CHING, 1998

Pode-se expressar a seção áurea na seguinte equação (figura 65):

$$\frac{a}{b} = \frac{b}{a+b}$$



Construção geométrica da Secção Áurea, primeiro por extensão, e depois por divisão.

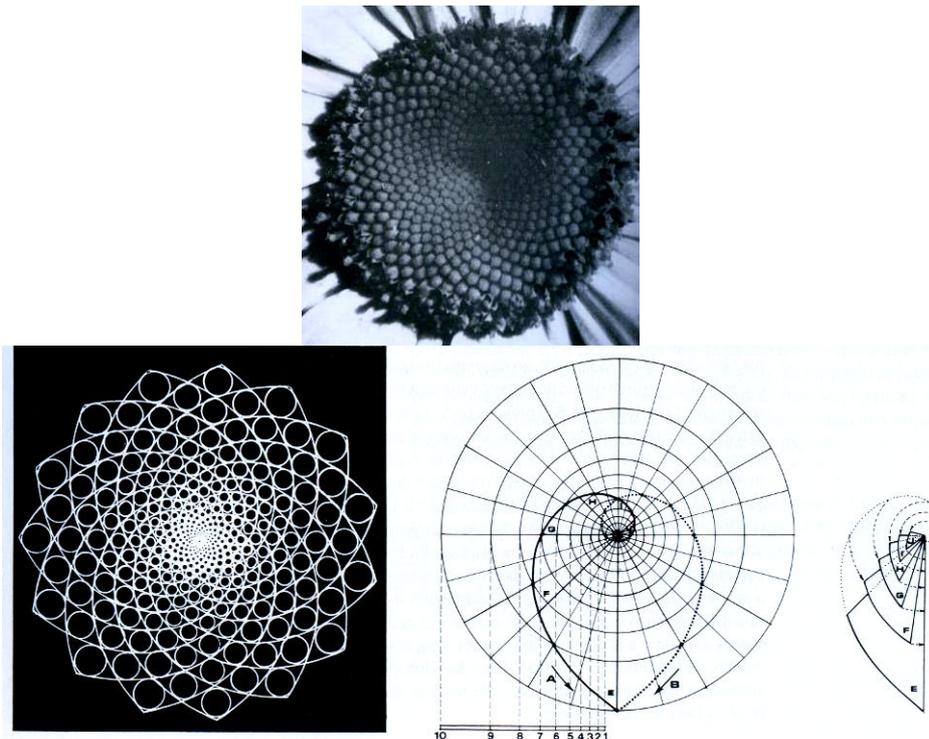


**Figura 65: Construções Geométricas da Secção Áurea**

**Fonte: CHING, 1998**

Essa é a fórmula célebre da secção áurea, que demonstra a relação entre as duas partes desiguais de um todo. Na qual “a parte menor está para a maior e assim como a parte maior está para o todo”. A singularidade da relação áurea mostra que em qualquer linha existente, apenas *um* ponto a dividirá em duas partes desiguais de forma recíproca e única. Esse ponto é denominado ponto de secção áurea, e é essa relação de proporção que impressiona por ser harmoniosa e agradável, comprovado desde o final do último século (DOCZI, 1990, p.02).

A seção áurea possui propriedades geométricas e algébricas que explicam a sua existência e perduração na arquitetura, como na estrutura de organismos vivos. Qualquer progressão baseada nesta é ao mesmo tempo aditiva e geométrica (CHING, 1998). Por exemplo, ao observar atentamente uma flor, percebe-se uma unidade e uma ordem, comuns a todos. Essa ordem pode ser percebida em proporções que sempre se repetem como o seu crescimento dinâmico pela união de opostos complementares (figura 66). Talvez a mensagem do “Sermão da Flor” de Buda, que simplesmente mostrou uma flor para a multidão sem dizer uma só palavra, mostre como os padrões vivos da flor espelham verdades relevantes para todas as formas da vida (DOCZI, 1990).

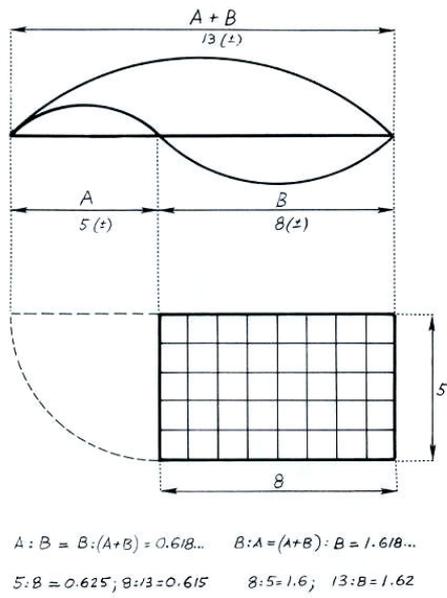


**Figura 66: O centro de uma margarida e seus diagramas. Espirais geradoras que se movem em direções opostas são logarítmicas (centro) e eqüiangulares (direita)**

**Fonte: DOCZI, 1990**

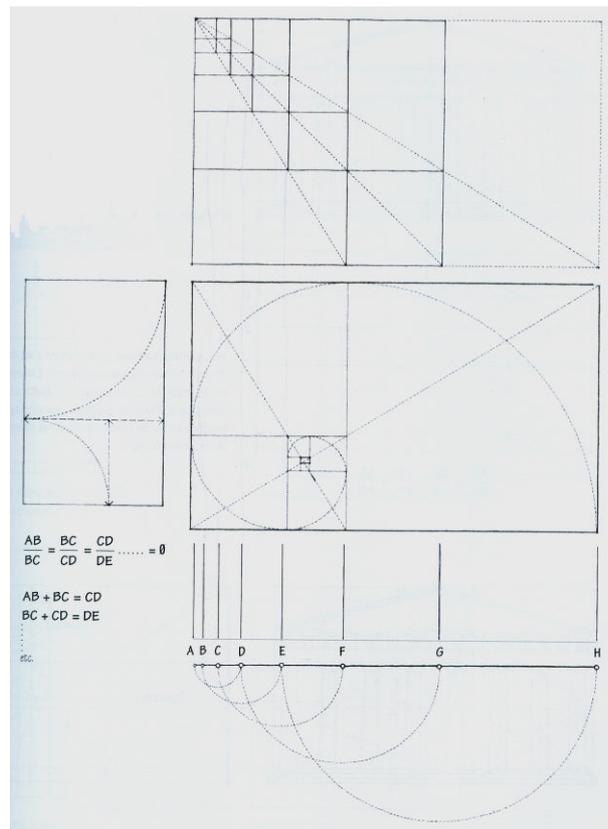
Ao desenhar um quadrado de tamanho qualquer, e adicionar um retângulo, ao lado do quadrado, de comprimento coincidindo com um dos lados do quadrado e a largura medindo 0,618 do comprimento, se obtém um retângulo áureo maior, composto de um quadrado e um retângulo menor. A proporção entre essas duas figuras é a seção áurea (BAXTER, 2003). A figura 67 mostra um retângulo áureo de proporções 5x8, e a linha acima bisetada (dividida) pela secção áurea com partes  $A = 5$  e  $B = 8$ , e os arcos que dão ênfase a essas relações (DOCZI, 1990).

Um retângulo áureo é definido pela sua proporção de acordo com as proporções áureas. Se um quadrado é construído sobre o seu lado menor, a porção restante do retângulo original seria um retângulo menor, mas semelhante ao áureo. Essa operação pode ser repetida quantas vezes forem necessárias para criar uma sucessão de quadrados e retângulos áureos. Os diagramas da figura 68 demonstram esse padrão (CHING, 1998).



**Figura 67: Aproximação de um retângulo áureo (5:8)**

**Fonte: DOCZI, 1990**



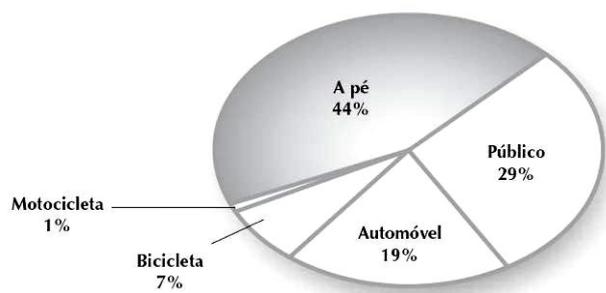
**Figura 68: Progressões baseadas na Secção Áurea**

**Fonte: CHING, 1998**

### 3.4.2 Estudos de dimensões das calçadas

Conforme Cambiaghi (2007), para o ambiente urbano ser agradável e cômodo, é necessário se preocupar com alguns princípios, como a acessibilidade, que deve estar presente em todos os pontos do espaço urbano e voltado para todas as pessoas. A acessibilidade é um princípio a ser considerado desde o planejamento até a execução das obras urbanas, com o propósito de possibilitar uma mobilidade sustentável e eficiente nas cidades, sem abrir mão do respeito coletivo para com todos os habitantes de uma determinada área urbana.

Assim, é necessário considerar a acessibilidade das vias para a circulação de pessoas; utilização dos espaços; orientação; segurança e funcionalidade, sempre livres de barreiras urbanísticas para que os transeuntes não encontrem dificuldades de transitar pelos passeios públicos (CAMBIAGHI, 2007). O gráfico a seguir, demonstra que a cada dia cresce o número de pessoas que se deslocam pelo perímetro urbano a pé, e esses habitantes merecem o respeito e a segurança que os espaços urbanos podem e devem lhes oferecer.



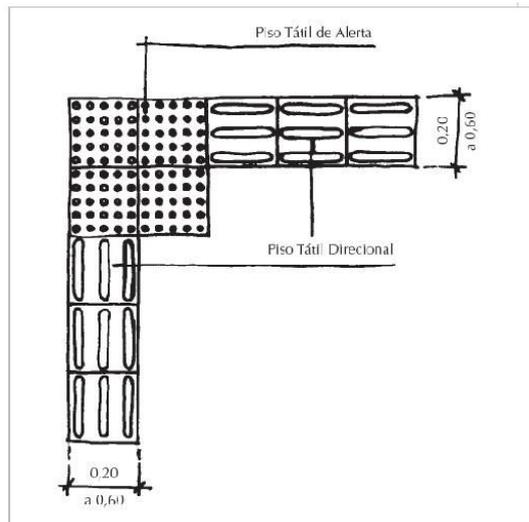
**Figura 69: Transporte urbano e metropolitano de pessoas no Brasil**

**Fonte: ANTP<sup>20</sup>, 2000, apud SECRETARIA ESPECIAL DA PESSOA COM DEFICIÊNCIA E MOBILIDADE REDUZIDA, 2005**

É necessária nos passeios públicos a colocação de pisos táteis, direcionais e de alerta (figura 71). Estes pisos funcionam como orientação às pessoas com deficiência visual ou baixa visão no percurso das rotas acessíveis. A sinalização de alerta deve ser utilizada para a identificação de obstáculos suspensos, rampas, escadas fixas, degraus isolados, etc. A sinalização tátil direcional deve ser referência para o deslocamento em locais amplos, ou onde não houver guia de balizamento. É importante ressaltar que o piso tátil deve ter cor contrastante com o piso adjacente ou com o entorno (SECRETARIA ESPECIAL DA PESSOA COM DEFICIÊNCIA E MOBILIDADE REDUZIDA, 2005).

---

<sup>20</sup> Associação Nacional de Transportes Públicos (ANTP).



**Figura 70: Exemplo de colocação de pisos táteis, de alerta e direcional**

**Fonte: SECRETARIA ESPECIAL DA PESSOA COM DEFICIÊNCIA E MOBILIDADE REDUZIDA, 2005**

Para esta pesquisa, o estudo do dimensionamento das calçadas irá se limitar a conhecer o dimensionamento dos passeios das cidades de São Paulo, SP, e Maringá, PR, para assim, alcançar a dimensão adequada para o piso ecológico, com o intuito de evitar recortes desnecessários na colocação do material, para atingir a medida delimitada nos passeios públicos pelas normas e legislações municipais. Deste modo tenta-se evitar o desperdício de material que gera um maior acúmulo de entulho oriundo da construção civil.

“O passeio público é a parte da via pública normalmente segregada e em nível diferente, destinada à circulação de pessoas, independente de idade, estatura, limitação de mobilidade ou percepção, com autonomia e segurança, bem como à implantação de mobiliário urbano, equipamentos de infra-estrutura, vegetação, sinalização e outros fins previstos em leis específicas”.

(Secretaria Especial da Pessoa com Deficiência e Mobilidade Reduzida, 2005, p.82)

Para a cidade de São Paulo, com o novo decreto, a prefeitura definiu um novo padrão arquitetônico que divide as calçadas em faixas. As calçadas com até 2 metros de largura serão divididas em 02 faixas diferenciadas por textura ou cor e as com mais de 2,00 metros, em 03 faixas (SECRETARIA DA HABITAÇÃO E DESENVOLVIMENTO URBANO, figura 71).

As 3 (três) faixas, acima mencionadas, foram definidas da seguinte maneira, conforme a Secretaria da Habitação e Desenvolvimento Urbano (2005):

- 1ª faixa de serviço: destinada à colocação de árvores, rampas de acesso para veículos ou portadores de deficiências, poste de iluminação, sinalização de trânsito e mobiliário urbano como bancos, floreiras, telefones, caixa de correio e lixeiras.
- 2ª faixa livre: destinada exclusivamente à circulação de pedestres, portanto deve estar livre de quaisquer desníveis, obstáculos físicos, temporários ou permanentes ou vegetação. Deve possuir superfície regular, firme, contínua e antiderrapante sob qualquer condição; largura mínima de **1,20m** (um metro e vinte centímetros); ser contínua, sem emenda, reparo ou fissura.
- 3ª faixa de acesso: área em frente ao imóvel ou terreno, onde podem estar a vegetação, rampas, toldos, propaganda e mobiliário móvel como mesas de bar e floreiras, desde que não impeçam o acesso aos imóveis. É uma faixa de apoio à propriedade.



**Figura 71: Divisão das calçadas em faixas**

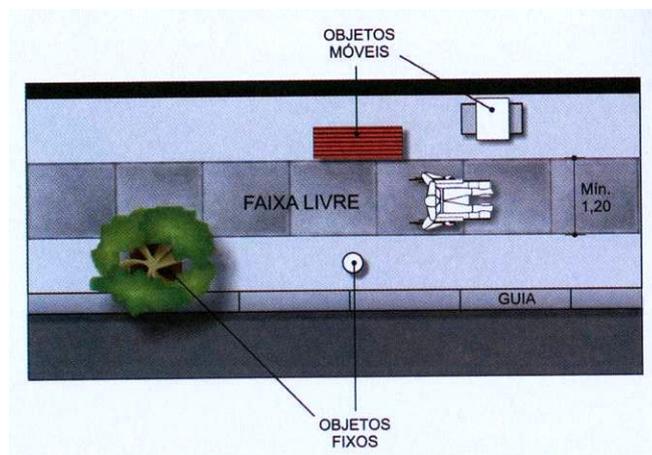
**Fonte: SECRETARIA DA HABITAÇÃO E DESENVOLVIMENTO URBANO, 2005.**

A faixa livre é uma área destinada exclusivamente à livre circulação de pedestres. Assim, não são admitidas interferências de mobiliário, sinalização, equipamento urbano, desníveis, rebaixamento de guias para acesso de veículos, vegetações e outros obstáculos, como floreiras e lixeiras, em seu espaço. Seu dimensionamento, conforme a NBR 9050/2004, é de largura mínima recomendada de **1,50 m** e mínima admitida de **1,20 m** (figura 72 e 73).



**Figura 72: Ilustração da faixa livre**

Fonte: SECRETARIA DA HABITAÇÃO E DESENVOLVIMENTO URBANO, n.d.

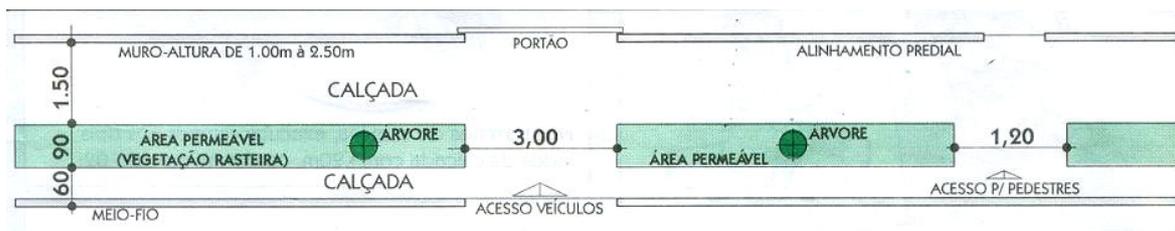


**Figura 73: Passeio com faixa livre contínua e ordenação de mobiliários urbanos**

Fonte: CAMBIAGHI, 2007

A cidade de Maringá, Paraná, conforme a lei 335/99 possui três modelos de calçadas:

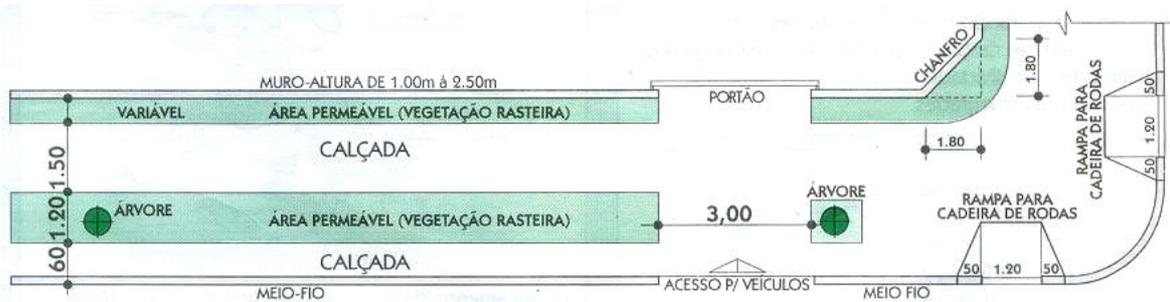
- Modelo 01: destinado a projetos de passeios públicos com largura de 3,00 metros em ruas residenciais e não residenciais, exceto na zona central do perímetro urbano (figura 74);



**Figura 74: modelo 01 de passeio, Maringá-PR**

Fonte: LEI 335/99

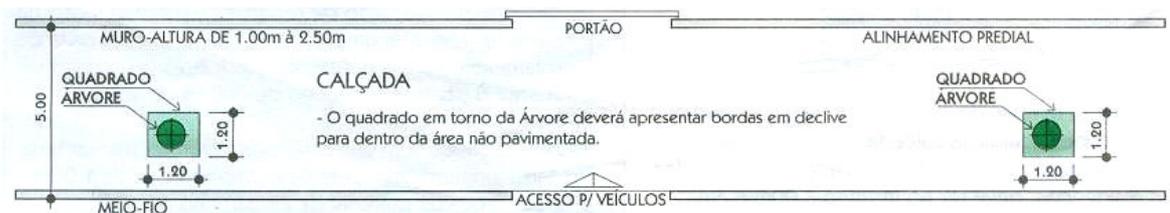
- Modelo 02: destinado a projetos de passeios com largura acima de 3,00 metros em ruas residenciais e não residenciais, exceto na zona central do perímetro urbano (figura 75);



**Figura 75: modelo 02 de passeio, Maringá-PR**

**Fonte: LEI 335/99**

- Modelo 03: destinado a projetos de passeios da zona central, totalmente pavimentadas, com exceção da área de implantação das árvores (figura 76).



**Figura 76: modelo 03 de passeio, Maringá-PR**

**Fonte: LEI 335/99**

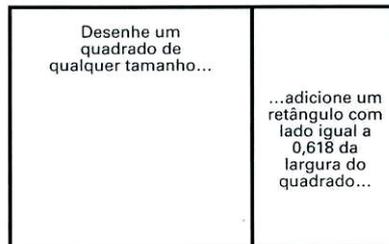
Observando esses dimensionamentos conclui-se que as calçadas residenciais variam em larguras de 1,20 metros até 1,50 metros e as comerciais chegam a 5,00 metros. Em Maringá, a margem da calçada que faz divisa com a rua, segue com largura de 0,60 metros.

### 3.4.3 Dimensões do piso ecológico

A busca da forma do piso ecológico é por uma geometria simples, para que esta não ressalte na paisagem urbana, ofuscando o seu brilho. Portanto, a definiu-se por um desenho retangular, para que este possa atender a um desenho de paginação de piso que possibilite ao mínimo a necessidade de recortes nas peças.

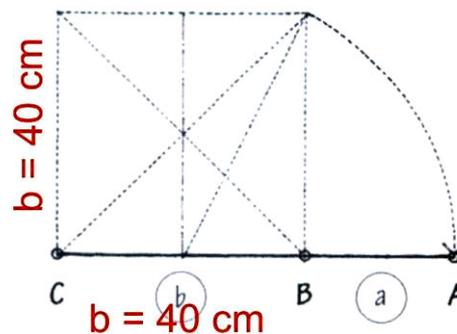
Trabalhando com a largura de 1,20 metros, modulou-se para que se possa trabalhar com 3 (três) peças de 0,40 metros ou 40 centímetros para cobrir a dimensão mínima de 1,20 m. Para chegar a forma e dimensão do retângulo, utilizou-se da seção áurea. Para Baxter (2003), a obtenção do retângulo áureo é realizada obtendo como comprimento a

coincidência com um dos lados do quadrado e a largura medindo 0,618 do comprimento (figura 77). Assim, se o quadrado tem 40 x 40 cm, o comprimento do retângulo é de 40 cm, e a largura é  $40 \text{ cm} \times 0,618 = 24,72 \text{ cm}$ , aproximado para 25 cm (Figura 78), obtendo a forma e as dimensões do piso ecológico, uma **peça retangular de 40 x 25 cm**.



**Figura 77: Retângulo dividido na secção áurea**

Fonte: BAXTER, 2003



---

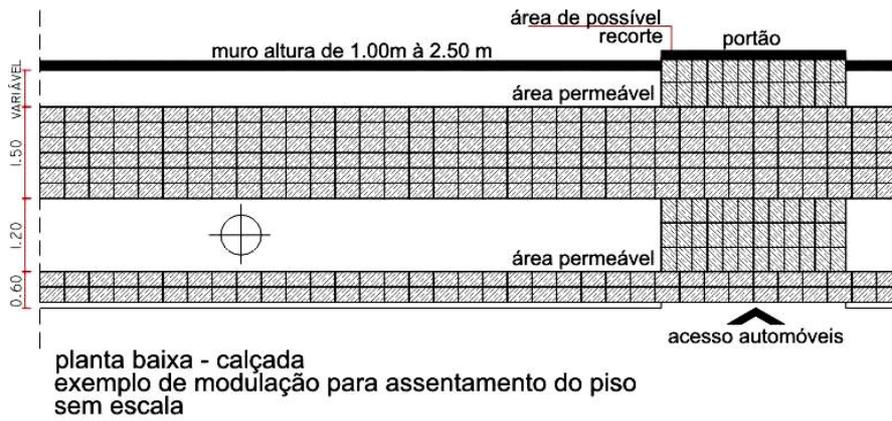

$$\frac{a}{b} = \frac{b}{a+b} = 0,618 \Rightarrow \frac{a}{b} = 0,618 \Rightarrow a = 0,618 \cdot b \Rightarrow a = 0,618 \cdot 40 \text{ cm} \Rightarrow a = 24,72 \text{ cm} \approx 25 \text{ cm}$$


---

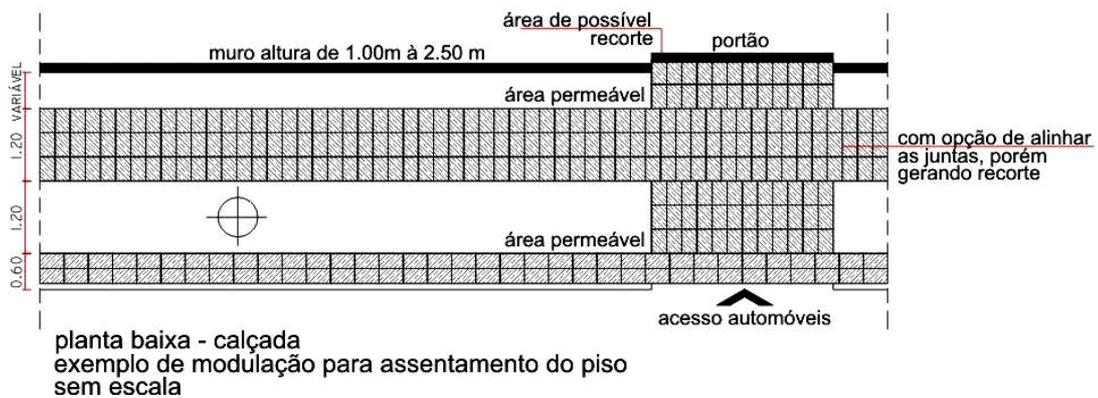
**Figura 78: Cálculo da dimensão do piso através da secção áurea**

Fonte: adaptado de CHING, 1998

A seguir apresentam-se as figuras 79, 80 e 81 que demonstram o assentamento, de junta seca, do piso nas dimensões indicadas, baseando-se nas calçadas da cidade de Maringá, e com a opção de dimensão mínima de 1,20 metros como na cidade de São Paulo. As imagens demonstram apenas uma das opções de desenho de paginação de piso, existindo inúmeras outras possibilidades comandadas pela criatividade de cada projetista.



**Figura 79: Exemplo de modulação conforme o modelo 1 e 2 da cidade de Maringá**  
**Fonte: AUTOR, 2008**



**Figura 80: Exemplo de modulação conforme o modelo 1 e 2 da cidade de Maringá, com a largura de 1,20 m, mínima na cidade de São Paulo**  
**Fonte: AUTOR, 2008**



**Figura 81: Exemplo de modulação conforme o modelo 3 da cidade de Maringá**  
**Fonte: AUTOR, 2008**

### 3.5 ESTUDO DE VIABILIDADE DO PRODUTO PROPOSTO: PISO ECOLÓGICO

Para Kaminski (2000), todo projeto se inicia da necessidade de uma população ou consumidores individuais. Esta pode ser originada de diversas formas, desde a simples afirmação observada de um indivíduo, como o dono da empresa, ou ainda resultado de uma complexa pesquisa de mercado. Assim, são necessários critérios para avaliar a real necessidade, com o intuito de evitar equívocos. As necessidades podem ser classificadas em:

1. Declaradas x reais: há uma grande diferença dentre essas necessidades. O cliente pode simplesmente declarar as suas necessidades referentes ao produto que queira comprar. Porém, as suas necessidades reais são normalmente os serviços que o determinado produto tem a oferecer.
2. Culturais: se originam dos padrões culturais do indivíduo. Estas estão ligadas aos costumes da sociedade, podendo se modificar de país para país, de um Estado para o outro, e até de cidade para cidade. Assim, alguns produtos podem ser campeões de venda em um local e em outro, nem sequer sair da prateleira.
3. Implícitas: podem não existir de forma aparente, mas estar latente e evidenciar-se quando aos meios para satisfazê-la.
4. Percebidas: a percepção do cliente pode ser diferente da visão do fabricante, e pode gerar um acúmulo de valores ao produto, como exemplo as lojas de grife.

A preocupação na criação do produto para a pavimentação pública se fecha no conforto ambiental que as cidades muitas vezes vêm perdendo com o seu desenvolvimento, isso ocorre de maneira mais densa nas médias e grandes cidades de todo o mundo. Nesta preocupação estão envolvidos a drenagem pluvial (minimização de enchentes periódicas e a abastecimento dos aquíferos), o conforto térmico (diminuição da sensação de calor) e o conforto acústico (absorção do ruído urbano). Neste produto ainda, busca-se a sustentabilidade com a utilização de material reciclável, além da preocupação com o conforto ambiental e drenagem, citados.

A partir de notícias dos jornais, como as seguintes, nota-se que muitas cidades do Brasil e do mundo vivem a realidade das enchentes e do caos urbano:

- As chuvas decorrentes de um ciclone extratropical que atingiu os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina provocaram alagamentos em 49

municípios e mais de 5.500 (cinco mil e quinhentas) pessoas tiveram que deixar as suas casas (FOLHA DE SÃO PAULO, 2008).

- Tempestades que atingem a China desde o dia 6 de junho de 2008, deixam mais de 45 mil casas destruídas, e 140 mil, danificadas e matam 57 civis (FOLHA DE SÃO PAULO, 2008).
- Fortes pancadas de chuva causaram deslizamentos, enchentes e trânsito, na tarde desta terça-feira, nos municípios localizados na região metropolitana de São Paulo. Cerca de 50 pessoas ficaram desabrigadas, em Santo André, mas não há registros de feridos. No Rio de Janeiro, regiões ficaram sem energia (FOLHA ONLINE, 2005).
- O Brasil ficou em oitavo lugar na lista dos países que mais lutam contra as mudanças climáticas, entre as 56 nações mais poluentes do planeta, segundo um índice elaborado pela ONG Germanwatch e que é liderado pela Suécia (PORTAL DE NOTÍCIAS DA GLOBO, 2007)
- O aquecimento climático é inequívoco, como está agora é evidente nas observações dos aumentos das temperaturas médias globais do ar e do oceano, do derretimento generalizado da neve e do gelo e da elevação do nível global médio do mar, podendo chegar a 7 metros (REDE DO SABER, 2008).

Acredita-se que a população e poder público consumirão o produto, visando uma busca pela melhoria da qualidade de vida urbana e pela sustentabilidade do meio ambiente. Assim, as necessidades do piso ecológico podem estar classificadas nas quatro categorias declaradas por Kaminski (2000), e explicadas a seguir:

1. Declaradas x reais: a simples pavimentação dos passeios públicos, com o propósito de gerar uma maior permeabilidade para o perímetro urbano.
2. Culturais: pela razão de que em algumas regiões talvez a necessidade da drenagem não seja latente, mas o pensar no desenvolvimento sustentável e no conforto ambiental sim. Porém, infelizmente não é toda a população que possui tal consciência.
3. Implícitas: está ligada na busca de meio ambiente ecologicamente equilibrado.

4. Percebidas: a parcela da população que tem a consciência da importância pela busca de meio ambiente sustentável, pode se propor a pagar mais por produtos que refletem a preocupação pela sua importância com o meio ambiente.

### 3.5.1 Pesquisa de Mercado (P.M.)

Para Munari (2002), a P.M. também pode ser denominada de “ficha de análise de produtos”. Esta ficha pode ser útil ao projetista para saber como analisar objetos de produção industrial, com o intuito de conhecer suas qualidades e defeitos sobre todos os aspectos. Dentre os valores de análise recomendado pelo citado autor, para esta pesquisa, focando nos dados importantes a serem analisados para o desenvolvimento do piso, foram selecionados os dados a seguir:

- Nome do Objeto e Fabricante: nem sempre o nome de um produto é o adequado e muitas vezes é um nome difícil de recordar, assim as pessoas lhes atribuem nomes diferentes. O fabricante é importante, pois muitas vezes o nome do produtor é garantia e sinônimo de um bom produto;
- Dimensões: para se ter a consciência de dimensões adequadas e inadequadas ao uso do produto, o bom funcionamento depende também na manuseabilidade;
- Materiais (composição): verificar os materiais utilizados e a quais funções este atende;
- Custo: comparação de custo com objetos semelhantes, levantados na cidade de Maringá, Paraná;
- Drenagem (funcionalidade): se o objeto se destina ou possui tal função;
- Manutenção: se o objeto requer manutenção especial e como fazê-la;
- Ergonomia (acessibilidade): se o objeto é seguro para os transeuntes e atende as normativas;
- Acabamento: os tipos de superfície disponíveis no mercado;
- Durabilidade: estudo do tempo de vida de um objeto;
- Execução: formas de aplicação dos produtos.

Abaixo seguem alguns produtos semelhantes ao piso ecológico proposto e outros freqüentemente utilizados na pavimentação urbana:

## 1 Pavimentos Intertravados de Concreto<sup>21</sup>



**Figura 82: Ilustrações de pavimento intertravado de concreto, durante o assentamento e o revestimento finalizado.**

**Fonte: SECRETARIA DA HABITAÇÃO E DESENVOLVIMENTO URBANO, n.d.**

- Fabricante: existem diversos fabricantes no mercado;
- Dimensões (largura x comprimento): 10x20 cm;
- Espessura: 6, 8 ou 10 cm, conforme projeto, para calçadas usualmente 6 cm;
- Armadura: não utiliza;
- Resistência à compressão:  $\geq 35$  MPa;
- Custo m<sup>2</sup> (Maringá/PR): formato retangular (cor natural) 60mm = R\$ 17,50 e 80 mm = R\$ 21,00, formato retangular (colorido) 60 mm = R\$ 22,00 e 80 mm = R\$ 30,00;
- Drenagem: pode ter essa finalidade se assentado com junta seca e sobre colchão de areia, portanto sem rejuntas;
- Acabamento: diversidade de cores e formatos;
- Tipo de Base: para calçadas brita graduada simples compactada;
- Manutenção: limpeza com jato de água e sabão neutro, para concertos o piso é de fácil remoção, possibilitando o reaproveitamento das peças e com liberação imediata para o tráfego;

---

<sup>21</sup> SECRETARIA DA HABITAÇÃO E DESENVOLVIMENTO URBANO. Comissão Permanente de Acessibilidade. Prefeitura de São Paulo. Conheça as regras para arrumar a sua calçada. São Paulo: CREA-SP, n.d.

- Durabilidade: elevada, desde que respeitadas as características do produto, modo de instalação e manutenção;
- Acessibilidade: antiderrapante, não possui junta maior que 2 cm;
- Execução: nivelamento e adequação do terreno, montagem da base com contenções laterais, espalhamento e nivelamento de areia de assentamento, colocação das peças, ajustes e compactação inicial, espalhamento de areia de rejunte e compactação final, limpeza e abertura ao tráfego.

## 2 Piso Grama<sup>22</sup>



**Figura 83: Ilustrações do piso grama, instalado no acesso de veículos em residência unifamiliar.**

**Fonte: ACERVO DO AUTOR, 2008.**

- Fabricante: Braston Pisos;
- Dimensões: 43,5 x 64,5 cm ou 86 x 57 cm;
- Espessura: 08 cm;
- Armadura: com opção de possuir armadura, conforme o tráfego de veículo a suportar;
- Materiais (composição): concreto com cimento CP-V40, areia, agregado miúdo composto de basalto, mármore e granito, pigmento, fibras e aditivos;
- Resistência à compressão: 35 MPa;

---

<sup>22</sup> BRASTON PISOS ARQUITETÔNICOS. Disponível em < <http://www.braston.com.br>>, acesso em 16 de julho de 2008.

- Custo m<sup>2</sup> (Maringá/PR): com armadura R\$ 79,50 por m<sup>2</sup>, sem armadura R\$ 65,00 por m<sup>2</sup>
- Função Declarada: drenagem;
- Manutenção: corte da grama, jato de água e sabão neutro;
- Durabilidade: não informada pelo fabricante;
- Acessibilidade: não atende pelos vazios onde é plantada a grama passar dos 2 centímetros;
- Execução: sem contrapiso, nivelamento da base, camada de areia média ou grossa de 3 a 4 cm, colocação do piso, compactação, plantio de grama, liberação para tráfego.

### 3 Placas pré-moldadas de concreto<sup>23</sup>



**Figura 84: Ilustrações de placa pré-moldadas de concreto**

**Fonte: SECRETARIA DA HABITAÇÃO E DESENVOLVIMENTO URBANO, n.d.**

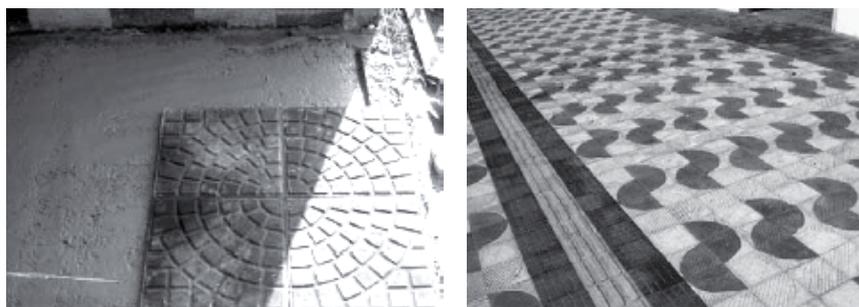
- Fabricante: existem diversos fabricante no mercado;
- Dimensões: 40 x 40 até 100 x 100 cm;
- Espessura: 30 mm;
- Resistência à compressão: 35 MPa;
- Resistência à flexão: 3,5 MPa;
- Custo m<sup>2</sup> (Maringá/PR): em média R\$ 55,00;

---

<sup>23</sup> SECRETARIA DA HABITAÇÃO E DESENVOLVIMENTO URBANO. Comissão Permanente de Acessibilidade. Prefeitura de São Paulo. Conheça as regras para arrumar a sua calçada. São Paulo: CREA-SP, n.d.

- Drenagem: não;
- Acabamento: variadas cores e texturas;
- Manutenção: limpeza jato de água e sabão neutro, intervenção pontual, com a substituição das placas;
- Durabilidade: elevada, desde que respeitadas às características do produto, de instalação, de uso e de manutenção;
- Acessibilidade: atende as normas;
- Execução: base para pedestres, é feita uma base de concreto magro com espessura de 5 cm sobre o solo compactado para placas fixas ou brita, armado com tela de aço, e cura mínima de 3 dias. Execução do piso: aplicação de camada fofa de argamassa, assentamento das placas; rejuntamento, limpeza e liberação para o tráfego.

#### 4 Ladrilho Hidráulico<sup>24</sup>



**Figura 85: Ilustrações de ladrilho hidráulico**

**Fonte: SECRETARIA DA HABITAÇÃO E DESENVOLVIMENTO URBANO, n.d.**

- Fabricante: existem vários fabricantes no mercado;
- Dimensões: 20 cm x 20cm, 20cm x 30cm, 30cm x 30cm e 40cm x 40cm;
- Espessura: mínima de 20 mm, conforme o formato da peça;
- Materiais (composição): são fabricados com argamassa de cimento e areia, com uma camada fina superficial prensada, na qual se utiliza cimento branco e corantes.

---

<sup>24</sup> SECRETARIA DA HABITAÇÃO E DESENVOLVIMENTO URBANO. Comissão Permanente de Acessibilidade. Prefeitura de São Paulo. Conheça as regras para arrumar a sua calçada. São Paulo: CREA-SP, n.d.

Nesta camada são feitos desenhos normalmente em relevo, o que tornam as peças antiderrapantes, motivo pelo qual são utilizadas em passeios públicos<sup>25</sup>;

- Armadura: somente necessária para o tráfego de veículos;
- Resistência à compressão: Resistência à tração na flexão: valor individual > 4,6 MPa e média > 5,0 MPa.
- Custo m<sup>2</sup> (Maringá/PR): em média R\$ 55,00;
- Drenagem: não;
- Acabamento: diferentes cores e texturas;
- Manutenção: limpeza a jato de água com sabão neutro, consertos pontuais, podendo ser necessária a substituição da peça;
- Durabilidade: elevada, desde que sejam respeitadas as características do produto, modo de instalação e de manutenção;
- Acessibilidade: atende as normas;
- Execução: da base em concreto magro com espessura de 3 a 5 centímetros e cura mínima de 3 dias; compactação e nivelamento do terreno, lançamento da base, cura da base; aplicação da argamassa de assentamento, assentamentos das peças e rejuntamento com nata de cimento, limpeza e abertura do tráfego.

---

<sup>25</sup> COMUNIDADE DA CONSTRUÇÃO. Como são executados os contrapisos e pisos para assentamento de ladrilhos, tacos e assoalhos. Disponível em <<http://www.comunidadeconstrucao.com.br/comunidade/calandra.nsf/0/73651F23E22D7AC603256C150064A056?OpenDocument&pub=T&proj=Novo&secao=TiraDuvidas>>, acesso em 07 de agosto de 2008.

## 5 Concreto (concreto liso ou estampado)<sup>26</sup>



**Figura 86: Ilustrações para a confecção do concreto estampado.**

**Fonte: NAKUMURA, 2008.**

- Fabricante: execução no local;
- Dimensões: modulação da estampagem de 1,20 metros;
- Espessura: 5 a 6 centímetros, para pedestres;
- Materiais (composição): cimento, cal e areia;
- Resistência à compressão: fator característico mínimo 20 MPa;
- Armadura: telas de aço soldadas;
- Custo m<sup>2</sup> (Maringá/PR): em média R\$ 29,00;
- Drenagem: superficial;
- Manutenção: limpeza a jato de água e sabão neutro; para consertos o piso é cortado de acordo com a modulação e refeito in loco com os mesmos produtos e estampas existentes;

---

<sup>26</sup> ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP. Sistemas Integrados de Calçadas: Caminhar em São Paulo está cada vez melhor. Disponível em <[http://www.abcp.org.br/downloads/arquivos\\_pdf/cartilha\\_calçadas\\_abr07.pdf](http://www.abcp.org.br/downloads/arquivos_pdf/cartilha_calçadas_abr07.pdf)>, acesso em 17 de julho de 2008.

- Durabilidade: elevada, desde que respeitadas as características do produto, modo de instalação e de manutenção;
- Acabamento: variadas cores e texturas;
- Acessibilidade: atende as normas;
- Execução: compactação do terreno, colocação de camada de brita, formas de concretagem e tela; descarga espalhamento e nivelamento da base de concreto, desempenho; aplicação do pigmento; estampagem; aplicação de resina após execução de corte de junta de controle e lavagem.

## 6 Piso de concreto com adição de pneu - RUBBERSIDEWALKS <sup>27</sup>



**Figura 87: Ilustração do piso de borracha, empresa Rubbersidewalks**

**Fonte: RUBBERSIDEWALKS, 2008.**

- Fabricante: Rubbersidewalks;
- Dimensões: 61 x 76x 4,8 centímetros, ou 61 x61 x 4,8 centímetros;
- Peso: 5 kg(pé)<sup>-2</sup> (0,092 m<sup>2</sup>);
- Materiais (composição): borracha de pneus, resina e corante;
- Custo m<sup>2</sup> (E.U.A): 1 pé quadrado (0,092 m<sup>2</sup>) custa 7,00 dólares, ou seja, R\$ 120,00 por m<sup>2</sup>, mais acessórios, transporte e imposto quando aplicável;
- Permeabilidade: sim entre as juntas de dilatação;

---

<sup>27</sup> RUBBERSIDEWALKS. Disponível em < <http://www.rubbersidewalks.com/>>, acesso em 16 de julho de 2008.

- Manutenção: varredura, jato de água ou esfregão;
- Durabilidade: mínima de 16 anos;
- Acessibilidade: atende as normas;

### 7 Piso Permeável – Mega Dreno BRASTON PISOS ARQUITETÔNICOS<sup>28</sup>



**Figura 88: Ilustração do piso Mega Dreno, fabricante Braston Pisos.**

**Fonte: BRASTONS PISOS, 2008**

- Fabricante: Braston Pisos Arquitetônicos, linha drenante;
- Dimensões: 11 x 22 x 6 cm, 25 x 25 x 06 cm, 40 x 40 x 05 cm, 50 x 50 x 05 cm, 77 x 77 x 07 cm;
- Materiais (composição): composto de cimento CP-V40, areia, agregado miúdo composto de basalto, mármore e granito, pigmento, fibras e aditivos;
- Resistência à tração e flexão: 4,1 MPa;
- Custo m2 (Maringá/PR): R\$ 64,00 m<sup>2</sup> ;
- Drenagem: acima de 95%;
- Manutenção: jato de água, sabão neutro ou limpa pedras, consertos com a substituição das peças;
- Durabilidade: não informada pelo fabricante;
- Acessibilidade: atende a legislação;
- Execução: aplicação direta sobre o solo, caso não esteja rígido deve-se aplicar pedra número 3 e compactar. Após este procedimento, sobrepor com uma camada de aproximadamente 4 a 5 centímetros de pedrisco, cobrir com manta de Bidin e

---

<sup>28</sup> BRASTON PISOS ARQUITETÔNICOS. Disponível em < <http://www.braston.com.br>>, acesso em 16 de julho de 2008.

sobre a manta uma última camada de 1 a 2 cm de pó de pedra no sentido de nivelar a base para aplicação do piso, liberação imediata para o tráfego.

### 3.6 DESENVOLVIMENTO DO MODELO BASE DO PISO ECOLÓGICO

#### 3.6.1 Definição do material reciclado a ser utilizado como agregado

A idéia principal do pavimento urbano, denominado de piso ecológico, é que este seja autodrenante (permeável), para que auxilie na drenagem pluvial do meio urbano e, associado às outras características propostas se destaque entre os seus similares existentes no mercado. O modelo base do piso proposto quanto a materiais foi inspirado no piso arquitetônico Mega Dreno, fabricante Braston Pisos (figuras 89 e 90 abaixo).

Na Casa Cor São Paulo, Brasil, 2006, o piso mega dreno foi apresentado pelo arquiteto paisagista Benedito Abbud, no passeio público, por ele denominado de “Calçada Viva”. Este projeto se resume na aplicação de dois tipos de composição de pavimentos estudados por Abbud, um é o piso de borracha, com a utilização de pneus usados e o outro, um piso autodrenante. Dentre as melhorias voltadas às características deste pavimento, também existe a facilidade de manutenção da rede de infra-estrutura urbana, pois a instalação dos pisos funciona como no piso intertravado. Neste desenvolvimento, também se faz presente a preocupação com a acessibilidade, quanto ao rebaixamento dos passeios e a utilização dos pisos táteis e sua diferenciação de cores, exigidos pela ABNT NBR 9050/2004 (BASTOS, 2006).



**Figura 89: Ilustrações da Calçada Viva, Benedito Abbud.**

Na seqüência: três vistas do passeio público, ilustração da facilidade de manutenção da rede urbana, vista do play ground com piso de borracha, vista do rebaixamento da calçada, detalhe da permeabilidade do piso.

**Fonte: ABBUD, 2008**



**Figura 90: Imagem aproximada do piso mega dreno**

**Fonte: BRASTON, 2008**

Para a verificação da composição do material tomou-se uma amostra do piso mega dreno, Braston, (item 3.5.1, produto 7), e no Laboratório do Grupo de Materiais Poliméricos (GMPC) da Universidade Estadual de Maringá, pingou-se algumas gotas de ácido clorídrico, em temperatura ambiente, nos pontos de material branco da amostra do piso, com o intuito de certificar-se que este material realmente é calcário. No momento da adição do ácido o material branco projetou uma espuma, certificando de que se trata de um pedrisco composto com calcário (figuras 91).



**Figura 91: Ensaio com ácido clorídrico, em detalhes os pedriscos de calcário com a reação ao ácido clorídrico**

**Fonte: AUTOR, 2008**

A partir do dado da incorporação de pedrisco de calcário no material, surgiu a idéia do piso ecológico possuir um material reciclado de calcário em sua composição e se voltou para a utilização de restos de placas de granito de marmorarias. A vontade de utilizar tal material surgiu da necessidade das marmorarias da região de Maringá não possuírem um destino certo para os seus restos de mármore e granitos, e desta forma estas sobras ficam depositadas no interior dos pátios das marmorarias e expostas ao tempo.

Na posse de algumas peças de mármore e granitos, em forma de placas (figura 92, como são encontrados nas marmorarias), iniciou-se a experiência de britagem deste material, para estudar a possibilidade de incorporá-lo na composição do piso ecológico. Porém, logo na primeira tentativa de britagem surgiu o alerta, a britagem deste material em placas gera uma porcentagem considerável de resíduo em forma de pó.



**Figura 92: Placas de granito para o teste da britagem**

**Fonte: AUTOR, 2008**

Então o teste de britagem das placas de mármore e granito foi executado através do seguinte procedimento: foram separados 5,100 Kg de placas de granito e mármore aleatórios. Estas peças foram quebradas, manualmente com martelo, em tamanhos menores, e colocadas em um moinho de barras (figura 93). No moinho de barras foi depositada uma carga abrasiva de 28,8 Kg, composta de 14 barras de ferros (figura 94). O material ficou no interior do moinho ao longo de 10 minutos, com rotação de 37 rpm. No final dos 10 minutos, restaram 3,300 Kg do material, ainda em formato de pedras com diferentes diâmetros. E o restante, ou seja, 1,800 Kg resultou em pó, material passante na peneira 0,15mm (figura 95).



**Figura 93: Imagens do moinho de barras do laboratório da Universidade Estadual de Maringá**

**Fonte: AUTOR, 2008**



**Figura 94: Material colocado no interior do moinho de barras, e material com a carga de abrasiva, respectivamente.**

**Fonte: AUTOR, 2008**



**Figura 95: Material resultante do moinho: resto das placas com pó, separação do pó, separação das placas e resultado da pesagem das placas separadas do pó, respectivamente.**

**Fonte: AUTOR, 2008**

Com o resultado da tentativa de britagem das placas de mármore e granito no moinho de barras, sabe-se que pelo menos, neste caso, aproximadamente 35% do material se resulta em pó, decorrente deste processo de britagem. Assim a britagem das placas de granito, resulta na produção significativa de material na forma de pó, juntamente com o pedrisco. O pó de mármore é considerado um problema ambiental, já estudado por inúmeros pesquisadores.

Contudo, com este resultado abandona-se a idéia de utilizar as placas de calcário para a sua incorporação no piso, passando a estudar outro material que possa ser utilizado como agregado reciclado para ser incorporado ao piso ecológico. Além disso, o Laboratório de Materiais de Construção (P02), da Universidade Estadual de Maringá, não possui

equipamentos adequados para a britagem da placas de mármore e granito em volumes maiores.

Para substituir as placas de mármore ou granito como agregado reciclado, pesquisou-se um material proveniente da reciclagem de retalhos e aparas do copolímero de etileno-acetato de vinila (E.V.A.), denominado de Britaleve®, utilizado na fabricação de solados, palmilhas e entre-solas de calçados. A busca de soluções para o destino deste material é constante, porque a sua deposição nos aterros sanitários, não é definitiva, devido a sua baixa taxa de degradação (BRITALEVE, 2008).

A Britaleve® é um agregado sintético que pode ser utilizado para concreto leve, sem funções estruturais, estável, atóxico, inerte, não suscetível a fungos, não atrai insetos e roedores. Dentre as suas aplicações estão o isolamento térmico e acústico, características estas que interessa ao piso ecológico (BRITALEVE, 2008).

**Tabela 05: Propriedades acústica da brita de E.V.A**

Isolação (DIN. 4109)		Absorção (ISO 354)		
Área	12 m <sup>2</sup>	Área	12 m <sup>2</sup>	12 m <sup>2</sup>
Espessura	7,0 cm	Espessura	4,5 cm	9,0 cm
Traço	1:2:3	Volume	0,54 m <sup>3</sup>	1,08 m <sup>3</sup>
Isolação	59,02 dB	Absorção	0,68	0,90

**Fonte: BRITALEVE, 2008**

**Tabela 06: Comparativo das propriedades da brita de E.V.A. com outros agregados da mesma finalidade**

Agregados	Peso final	Mistura	Resistência	Armazenagem	Custo final
BRITALEVE®	Médio	Fácil	Elevada	Exposta	Menor
Vermiculita expandida	Médio	Difícil	Baixa	Protegida	Alto
Argila expandida	Maior	Fácil	Elevada	Protegida	Alto
Poliestireno	Menor	Difícil	Baixa	Exposta	Médio

**Fonte: BRITALEVE, 2008**

Contudo, definiu-se por substituir a idéia de utilizar restos de mármore e granitos para a utilização da Britaleve® como um dos agregados a serem utilizados na composição do piso ecológico, e assim, continuando no objetivo de incorporar material reciclado na composição do piso ecológico.

### 3.6.2 Materiais para a composição do piso ecológico

A pesquisa para a composição do piso ecológico se baseou na composição do piso Mega Dreno da Braston, que utiliza os seguintes materiais: cimento CP-V40, areia, agregado miúdo composto de basalto, mármore e granito, pigmento, fibras e aditivos<sup>29</sup>. Porém para o desenvolvimento do traço do piso ecológico, piso de concreto poroso, alguns materiais foram modificados.

O cimento selecionado para a composição do piso ecológico foi o cimento CPV ARI, por possuir alta resistência inicial (NBR 5733/1991). Algumas empresas de fabricação de pré-fabricados chega a entregar seus produtos aos consumidores com idades de 3 a 7 dias após a fabricação, devido ao número de peças encomendadas, espaço para armazenamento e ganhos na produção. Assim, o CP V ARI, é indicado para a fabricação de peças pré-fabricadas, por proporcionar maior aproveitamento das formas, rapidez na desforma e assim, ganhos de produtividade (MINISTÉRIO DA FAZENDA, 2006<sup>30</sup>). Além disso, ganhando tempo para a elaboração do projeto do traço quanto a sua resistência à compressão, primeiro ponto importante de análise.

Quanto aos agregados optou-se por utilizar pedrisco de basalto, Britaleve® (como material reciclado) e areia, buscando possibilitar maior resistência com a diminuição de espaços vazios no concreto. A definição pelo pedrisco de basalto se confirma por sua resistência e economia final quanto ao custo da peça, sendo um pedrisco relativamente barato comparado ao pedrisco de calcário, comercializado como pedra decorativa para jardins, aquários, fabricação de piso como a granitina, etc. As características da Britaleve® citadas, destacam-se aqui quanto à contribuição para isolamento térmico e acústico, o que fundamenta sua utilização como agregado na composição do concreto para o piso ecológico.

---

<sup>29</sup> Conforme citado anteriormente, item 3.5.1, produto 07.

<sup>30</sup> MINISTÉRIO DA FAZENDA; MINISTÉRIO DA JUSTIÇA. Problemas concorrenciais da reforma da Norma NBR 12655. Brasília, 31 de jan. de 2006. Disponível em: <[http://www.seae.fazenda.gov.br/central\\_documentos/manifestacoes.../p\\_cim\\_abnt\\_20063101\\_manifestacaoesobreabr12655.pdf](http://www.seae.fazenda.gov.br/central_documentos/manifestacoes.../p_cim_abnt_20063101_manifestacaoesobreabr12655.pdf)>. Acessado em 25 de nov. de 2008.

### 3.6.3 Definição do Traço

#### 3.6.3.1 Projeto do traço: Primeiros estudos

A partir dos materiais definidos: pedrisco de basalto e pasta de cimento (cimento e água) iniciou-se a tentativa de definir o traço, a proporção entre pedrisco e pasta. Os estudos dos traços para o piso ecológico foram desenvolvidos no Laboratório de Desenvolvimento Tecnológico (LADTEC) do SENAI, sede Maringá – Paraná e trabalhado em volume, com o intuito de facilitar a adição da Britaleve® (após a definição de um traço padrão, figura 96), pois este material é demasiadamente leve comparado ao pedrisco de basalto (figura 96), assim em peso o volume do material reciclado poderia se equiparar ao do pedrisco.



**Figura 96: Imagem aproximada do pedrisco de basalto e da Britaleve®, respectivamente**

**Fonte: AUTOR, 2008**

Para atingir maior resistência buscou-se utilizar o fator água/cimento de 0,5. Pensando no volume para 1 litro de material, estipulou-se atingir 200 ml de vazios, ou seja, 20% de vazios para a permeabilidade do piso. Assim, em 1 litro de pedrisco, tem-se aproximadamente 500 ml de vazios que foram preenchidos com 300 ml de pasta de cimento. A pasta de cimento foi estudada com e sem aditivo, para verificar se poderia haver melhoria na mistura com o pedrisco, visando o preenchimento dos vazios.

Com o pedrisco de basalto lavado para a retirada dos finos e posteriormente seco, para a não interferência da umidade da água no traço, iniciou-se o estudo dos materiais. A primeira preocupação com a mistura entre a pasta e o pedrisco surgiu de como a pasta de cimento iria preencher os vazios entre os agregados, então cogitou-se a hipótese da

necessidade de utilizar aditivo plastificante<sup>31</sup> para melhorar a mistura da pasta. Assim, misturou-se a pasta no fator  $a/c=0,5$  com aditivo (Rheotec tec-flow 7030, figura 97) e sem o aditivo e a despejou em um balde com brita (figura 98) e no volume de 1L de pedrisco em uma proveta de vidro (figura 99) para a verificação como a pasta poderia escorrer por entre os pedrisco. A pasta de cimento foi misturada manualmente ou no misturador mecânico, conforme a quantidade de material produzido para cada estudo (figura 100).



**Figura 97: Aditivo plastificante**

**Fonte: AUTOR, 2008**



**Figura 98: na seqüência, pasta com aditivo e a comparação entre a pasta com e sem aditivo**

**Fonte: AUTOR, 2008**

---

<sup>31</sup> O aditivo plastificante não interfere na resistência do concreto, influenciando somente nas características físicas da pasta (NBR 5733/1991).



**Figura 99:** as três primeiras fotos a pasta não possui aditivo (pasta para o traço B) e na seqüência a comparação da pasta com aditivo (pasta para o traço A), ambas no tubo de vidro

**Fonte:** AUTOR, 2008



**Figura 100:** Misturador mecânico utilizado para misturar a pasta de cimento

**Fonte:** AUTOR, 2008

Decorrente da rápida descida da pasta no balde e observada na proveta de vidro entre os pedrisco, realizou-se outra comparação na coluna de vidro, devido a preocupação de que a pasta sendo muito plástica, poderia acumular-se no fundo do corpo de prova ou da fôrma, gerando uma camada de cimento no fundo o que impediria a permeabilidade na face inferior do piso. Assim, produziu-se a mesma mistura de pasta sem aditivo com pedrisco (figuras 101 e 102) e pasta com aditivo e pedrisco, colocando-as novamente na proveta de vidro para análise a olho nu (figuras 103 e 104).



**Figura 101: Mistura da pasta do traço B, sem aditivo**  
**Fonte: AUTOR, 2008**



**Figura 102: Mistura da pasta sem aditivo (traço B), e verificação do não acúmulo de pasta no fundo da proveta.**  
**Fonte: AUTOR, 2008**



**Figura 103: Mistura da pasta com aditivo, traço A**  
**Fonte: AUTOR, 2008**



**Figura 104: Mistura da pasta do traço A, com aditivo e com acúmulo no fundo da proveta.**  
**Fonte: AUTOR, 2008**

Comparando-se as duas misturas (com e sem aditivo, figuras 102 e 104), verifica-se que realmente a mistura com aditivo possibilita um acúmulo de pasta na face inferior da amostra, chegando à conclusão de não utilizar aditivo inicialmente e a possibilidade de utilizar de um fator  $a/c = 0,4$  para diminuir a quantidade de água na interior do traço. Após este estudo para o conhecimento dos materiais optou-se por definir três traços (tabela 7), e comparando os três traços através da proveta definiu-se utilizar como padrão o traço C, ou seja, sem aditivo e com fator  $a/c=0,4$ , pela aparência de aderência e a não presença aparente de acúmulo de pasta na face inferior das amostras.

**Tabela 7: primeiros traços**

<b>TRAÇO A</b> com aditivo	<b>TRAÇO B</b> sem aditivo	<b>TRAÇO C</b> sem aditivo
<b>1/6,54/0,006/0,5</b>	<b>1/6,54/0,0/0,5</b>	<b>1/6,54/0,0/0,4</b>
a/c = 0,5	a/c = 0,5	a/c = 0,4
cimento = 220 gr	cimento=220 gr	cimento=220 gr
pedrisco = 1438 gr	pedrisco = 1438 gr	pedrisco = 1438 gr
aditivo = 1,32 gr	s/ aditivo	s/ aditivo
água = 110gr	água = 110 gr	água = 88 gr

**Fonte: AUTOR, 2008**

A partir da definição de um traço padrão (traço C), inseriu-se na mistura a Britaleve®, em diferentes porcentagens que geraram a elaboração de mais três traços, com a substituição do pedrisco pela Britaleve® de 15%, 30% e 45% (ver tabela 08). Os traços foram moldados em corpos-de-prova cilíndricos de 50 x 100 milímetros, com aparência verificada na figura 105. Porém, percebe-se que no traço 1, moldado no corpo-de-prova, houve um pequeno acúmulo de pasta no fundo da fôrma e nos traços 2, 3 e 4 não há a presença de acúmulo de pasta. Portanto, acredita-se que a Britaleve® pode ter absorvido mais água nos traços em que foi adicionada. Como o interesse do piso ecológico está em utilizar a Britaleve®, manteve-se a utilização do traço 1 (padrão), pois a presença do agregado reciclado evitou ou corrigiu o acúmulo de água na base do corpo-de-prova.

Colocou-se os traços 3 e 4, em dois copos plástico (figura 106), para verificar em quanto tempo este poderia ser desenformado e a sua aparente permeabilidade. Com a amostra do copo sobre um béquer de vidro, despejou-se água sobre o “modelo do traço” para obter uma primeira verificação sobre a passagem da água pelo “modelo”. A passagem da água

foi quase que instantânea (figuras 107 e 108), demonstrando que a permeabilidade almejada fora alcançada com o número de vazios encontrados neste projeto de traço.

**Tabela 8: traço com porcentagem de Britaleve®**

TRAÇO 1 (padrão, traço C inicial)	TRAÇO 2	TRAÇO 3	TRAÇO 4
<b>1/6,54/0/0,4</b>	<b>1/5,55/0,11/0,4</b>	<b>1/4,57/0,22/0,4</b>	<b>1/3,60/0,33/0,4</b>
a/c = 0,4	a/c = 0,4	a/c = 0,4	a/c = 0,4
cimento=220 gr	cimento=220 gr	cimento=220 gr	cimento=220 gr
pedrisco = 1438 gr	pedrisco = 1222 gr	pedrisco = 1007 gr	pedrisco = 791 gr
<b>s/ britaleve</b>	<b>britaleve = 150 ml</b>	<b>britaleve = 300 ml</b>	<b>britaleve = 450 ml</b>
água = 88 gr	água = 88 gr	água = 88 gr	água = 88 gr

Fonte: AUTOR, 2008



**Figura 105: Aparência dos corpos-de-prova, traços 1, 2, 3 e 4.**

Fonte: AUTOR, 2008



**Figura 106: Traços no copo de plástico, traço 3 e 4**

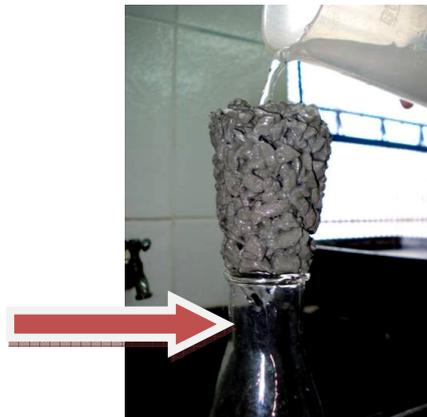
Fonte: AUTOR, 2008

Após a verificação da obtenção da permeabilidade do traço, estes foram pesados para conhecer a diferença de peso entre eles, para saber se o concreto com a Britaleve® seria mais leve. O resultado da pesagem é conhecido na tabela 09, cujo traço 04 com 45 % de Britaleve®, é 36% mais leve que o traço 1 (traço padrão).



**Figura 107:** “Modelo” do traço 4 sobre o béquer de vidro para observar a passagem da água.

**Fonte:** AUTOR, 2008



**Figura 108:** Passagem da água pelo traço 4

**Fonte:** AUTOR, 2008

Para a certificação de que algum destes traços poderia ser utilizado para a elaboração definitiva do piso ecológico, fez-se a verificação de suas resistências à compressão (figuras 109, 110, 111 e 112), com idade do concreto de 5 dias. Os corpos-de-prova foram colocados na prensa para o teste, cujo resultado não foi satisfatório, pois os traços com adição do material reciclado não obtiveram resultado melhor que 2,04 MPa para o traço 2, com 15% de Britaleve® (tabela 10).

**Tabela 9: Peso (gr) dos traços 1,2,3 e 4**

	Peso (em gramas)
<b>Traço 1</b> (0% de britaleve)	363,48
<b>Traço 2</b> (15% de britaleve)	317,52
<b>Traço 3</b> (30% de britaleve)	305,89
<b>Traço 4</b> (45% de britaleve)	234,49

Fonte: AUTOR, 2008



Figura 109: Corpo-de-prova 50 x 100 mm, traço 1, colocado na prensa

Fonte: AUTOR, 2008



Figura 110: Detalhe rompimento do traço 2

Fonte: AUTOR, 2008

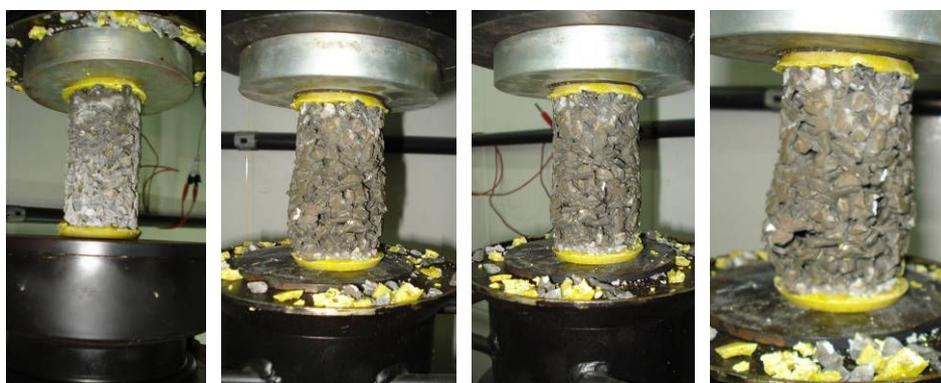


Figura 111: Detalhe rompimento do traço 3

Fonte: AUTOR, 2008



**Figura 112: Detalhe do corpo-de-prova do traço 3 rompido**

**Fonte: AUTOR, 2008**

Após o resultado não satisfatório dos traços elaborados, iniciou-se uma nova proposta de traço incorporando granilha de basalto lavada (figuras 113 e 114), areia e fibra de nylon (figura 115). Areia e fibra foram adicionadas para buscar uma melhor resistência à compressão com o preenchimento dos vazios. Assim, elaboraram-se mais três traços (tabela 11): traço 5 (padrão, figura 116), traço 6 e 7 (com fibra de nylon, figura 117), também elaborados em volume e, pensados de forma a diminuir o número de vazios afim de aumentar a resistência à compressão do concreto. Nos traços 6 e 7, foi adicionada mais água na pasta, pois a fibra de nylon absorve mais água e o concreto assim, poderia se tornar muito seco.

**Tabela 10: Resultado do ensaio de resistência à compressão dos traços 1, 2, 3 e 4**

Corpos-de-prova	Diâmetro (mm)	Força (kN)	Tensão (MPa)
1	50.00	8.25	<b>4.20</b>
2	50.00	4.01	<b>2.04</b>
3	50.00	1.85	<b>0.94</b>
4	50.00	1.16	<b>0.59</b>

**Fonte: AUTOR, 2008**



**Figura 113: Granilha utilizada nos traços 5, 6 e 7**

**Fonte: AUTOR, 2008**

**Tabela 11: traços 5, 6 e 7**

<b>TRAÇO 5 (padrão)</b>	<b>TRAÇO 6</b>	<b>TRAÇO 7</b>
<b>1/3,7/7,49/0,0/0,35</b>	<b>1/3,7/7,49/0,05/0,4</b>	<b>1/2,18/4,99/0,05/0,35</b>
96 gr de cimento	96 gr de cimento	144 gr de cimento
314,2 gr de areia	314,2 gr de areia	314,2 gr de areia
719 gr de pedrisco e granilha de basalto	719 gr de pedrisco e granilha de basalto	719 gr de pedrisco e granilha de basalto
sem fibra de nylon	5 gr de fibra de nylon	7,2 gr de fibra de nylon
34 gr de água	39 gr de água	51 gr de água

**Fonte: AUTOR, 2008**

**Figura 114: lavagem da granilha para a retirada dos finos**

**Fonte: AUTOR, 2008**

**Figura 115: Mistura do pedrisco, granilha e areia**

**Fonte: AUTOR, 2008**

**Figura 116: Mistura traço 5**

**Fonte: AUTOR, 2008**



**Figura 117: Mistura traço 7**

**Fonte: AUTOR, 2008**

**Tabela 12: Resultado do ensaio de resistência à compressão dos traços 1, 2, 3.**

Corpos-de-prova	Diâmetro (mm)	Força (kN)	Tensão (MPa)
1	50.00	12.64	<b>6.23</b>
2	50.00	5.40	<b>2.65</b>
3	50.00	7.79	<b>3.83</b>

**Fonte: AUTOR, 2008**



**Figura 118: Corpos-de-prova dos traços 5,6 e 7 depois de rompidos**

**Fonte: AUTOR, 2008**

Analisando o resultado do ensaio de compressão e verificando a imagem dos corpos-de-prova rompidos (tabela 12 e figura 118), chega-se a conclusão de que as fibras não proporcionaram um aumento da resistência à compressão.

### **3.6.3.2 Projeto do traço: Traço definitivo**

Com o resultado do traço com adição de areia, foi desenvolvido um novo traço com pedrisco de basalto, areia, cimento e água. O traço foi baseado no método do Tecnólogo em Concreto Jean Marcelo Souto<sup>32</sup>. Os traços foram desenvolvidos a partir do traço A (padrão, figura 119) e os traços B, C e D com diferentes porcentagens de Britaleve® e o dobro do volume do traço A, para facilitar a medição e incorporação da Britaleve® (ver

<sup>32</sup> Método desenvolvido com base nos autores Paulo Helene e Salvador Giammusso.

tabela 13). Os traços foram moldados e três dias depois os corpos-de-prova foram retirados da forma e verificado que estes estavam “esfarelando” (figuras 120), devido a pouca água ou a adição do aditivo.

Assim, tomando como padrão o traço A, substituiu-se 10% do peso do pedrisco por areia e cimento, buscando manter o fator  $a/c=0,5$ , e então, foram moldados mais 7 projetos de traços variados a partir do traço A (tabela 14). No traço A.1, foi adicionado aditivo plastificante e verificado que este se tornou muito plástico (figura 121). Esta mistura então foi descartada sem moldar o corpo-de-prova. Devido a isto, não se utilizou aditivo plastificante na mistura seguinte, obtendo uma mistura da pasta aparentemente adequada chegando à conclusão de não utilizar aditivo plastificante nos demais traços. Com a mistura do traço 1 (figura 122), percebeu-se na observação através da proveta de vidro que este ainda estava com excesso de água. Assim nos próximos traços 2, 3, 4, 5, 6 e 7 (figuras 123 à 128) procurou-se diminuir o cimento e aumentar areia e/ou pedrisco, na porcentagem anteriormente retirada.

**Tabela 13: Traços para o piso**

<b>TRAÇO A</b> (padrão)	<b>TRAÇO B</b>	<b>TRAÇO C</b>	<b>TRAÇO D</b>
1/1,73/7,09/0,0/0,06/0,54	1/1,73/6,76/0,035/0,12/0,54	1/1,73/6,44/0,07/0,12/0,54	1/1,73/6,11/0,14/0,12/0,54
110 gr cimento	220 gr cimento	220 gr cimento	220 gr cimento
190 gr areia	380 gr areia	380 gr areia	380 gr areia
780 gr pedrisco	1488,1 gr pedrisco	1416,2 gr pedrisco	1344,3 gr pedrisco
s/ britaleve	08 gr britaleve	16 gr britaleve	32 gr britaleve
7,42 gr aditivo	14,84 gr aditivo	14,84 gr aditivo	14,84 gr aditivo
60 gr água	120 gr água	120 gr água	120 gr água

**Fonte: AUTOR, 2008**



**Figura 119: Mistura traço A (padrão)**

**Fonte: AUTOR, 2008**



**Figura 120: Imagem dos corpos-de-prova esfarelando, vista de todos e em detalhe**

**Fonte: AUTOR, 2008**

**Tabela 14: traços variados a partir do traço A**

<b>TRAÇO A (padrão)</b>	<b>TRAÇO A.1 (descartado)</b>	<b>TRAÇO 1</b>	<b>TRAÇO 2</b>
<b>1/1,73/7,09/0,07/0,55</b>	<b>1/1,53/4,67/0,05/0,53</b>	<b>1/1,53/4,67/0,53</b>	<b>1/1,53/4,8/0,46</b>
110 gr cimento	150 gr cimento	150 gr cimento	150 gr cimento
190 gr areia	230 gr areia	230 gr areia	230 gr areia
780gr pedrisco	700gr pedrisco	700gr pedrisco	720gr pedrisco
7,42 gr aditivo	7,42 gr aditivo	60 + 20 = 80 gr água	70 gr água
60 gr água	60 + 20 = 80 gr água		

<b>TRAÇO 3</b>	<b>TRAÇO 4</b>	<b>TRAÇO 5</b>	<b>TRAÇO 6</b>	<b>TRAÇO 7</b>
<b>1/1,92/5,38/0,58</b>	<b>1/1,77/5,54/0,54</b>	<b>1/2/5,38/0,58</b>	<b>1/1,92/5,54/0,58</b>	<b>1/1,92/5,38/0,58</b>
130 gr cimento	130 gr cimento	130 gr cimento	130 gr cimento	130 gr cimento
250 gr areia	230 gr areia	260 gr areia	250 gr areia	250 gr areia
700gr pedrisco	720gr pedrisco	700gr pedrisco	720gr pedrisco	700 gr pedrisco e granilha
75 gr água	70 gr água	75 gr água	75 gr água	75 gr água

**Fonte: AUTOR, 2008**



**Figura 121: mistura traço A.1**

**Fonte: AUTOR, 2008**



**Figura 122: mistura traço 1**

**Fonte: AUTOR, 2008**



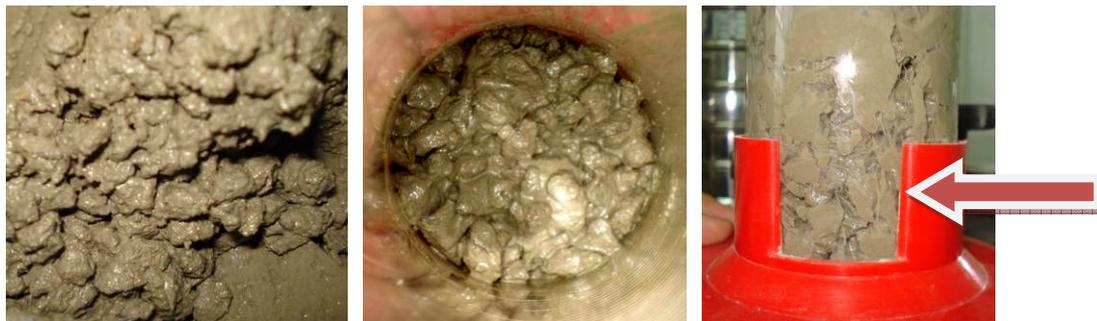
**Figura 123: mistura traço 2**

**Fonte: AUTOR, 2008**



**Figura 124: mistura traço 3**

**Fonte: AUTOR, 2008**



**Figura 125: mistura traço 4**

**Fonte: AUTOR, 2008**



**Figura 126: mistura traço 5**

**Fonte: AUTOR, 2008**



**Figura 127: mistura traço 6**

**Fonte: AUTOR, 2008**



**Figura 128: mistura traço 7**

**Fonte: AUTOR, 2008**

A partir das misturas dos traços os corpos-de-prova foram moldados e desenformados, no segundo dia. Estes ficaram 24 horas em cura (submersos na água) e no terceiro dia foi realizado rompimento dos 7 traços para o conhecimento de suas resistências à compressão (figuras 129, 130 e 131) e na seqüência, definiu-se qual dos traços seria utilizado para a adição da Britaleve®, obtendo um traço padrão para o piso ecológico.

A tabela 15, mostra as resistências à compressão dos 7 traços elaborados na tabela 14. Visando os traços de maior resistência tem-se a opção de trabalhar com os traços 2, 4 e 5. O traço 2, foi descartado pelo fator água/cimento ser maior, o que aumentaria o consumo de cimento, refletindo no valor final do produto. Pensando que para o uso de pedestres, pode-se ter a resistência final em torno de 15 MPa<sup>33</sup>, optou-se por utilizar os traços 4 e 5 e a partir deste adicionar as porcentagens de 5, 10 e 15% de Britaleve®, substituindo o pedrisco de basalto. Assim, os traços 4 e 5 foram moldados em copos de plástico e verificada sua permeabilidade a olho nu (figuras 132 e 133). E os traços 4 e 5 foram utilizados como padrão para a formação de mais 3 traços com a adição de porcentagens do material reciclado, Britaleve® (tabelas 16 e 17, figura 134).



**Figura 129: Corpos-de-prova capeados**

**Fonte: AUTOR, 2008**

---

<sup>33</sup> Ao comparar os valores exigido para a resistência à compressão no Brasil com alguns países, como a Austrália e África do Sul, que dispõem normas que especificam resistências mínimas de 25 MPa conforme a finalidade da utilização do produto da pavimentação intertravada de concreto. Tem-se a verificação de que as resistências de 35 à 50 MPa exigidas no Brasil são realmente elevadas (FIORITI, 2007).

Sob a análise de que a capacidade de carga que o paver deve suportar para conseguir a resistência mínima de 25 MPa, como nas normas da Austrália e África do Sul, os valores no Brasil ainda são elevados. Para o paver atingir a resistência à compressão de 25 MPa, este deve suportar aproximadamente 157500 N, contra como exemplo, aproximadamente 94500 N para e possuir uma resistência à compressão de 15 MPa. Comparado aos 15 MPa de resistência mecânica, que indica em termos de solicitações baixas, é suficiente para suportar a sobrecarga que será exercida em calçadas, praças e locais com trânsito leve (FIORITI, 2007).



**Figura 130: Vista do corpo-de-prova na prensa**

**Fonte: AUTOR, 2008**



**Figura 131: Corpos-de-prova na prensa, rompimento**

**Fonte: AUTOR, 2008**

**Tabela 15: Resultado do ensaio de resistência à compressão dos traços 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7.**

Corpos-de-prova	Diâmetro (mm)	Força (kN)	Tensão (MPa)
1	50.00	20.43	10.41
2	50.00	30.53	15.55
3	50.00	22.13	11.27
4	50.00	22.36	11.39
5	50.00	25.06	12.76
6	50.00	21.12	10.76
7	50.00	17.65	8.99

**Fonte: AUTOR, 2008**



**Figura 132: Traços 4 e 5, no copo plástico**

**Fonte: AUTOR, 2008**



**Figura 133: Observação da passagem de água pelo traço 5**

**Fonte: AUTOR, 2008**

**Tabela 16: Traço 4 com adição de Britaleve®**

<b>TRAÇO 4 (padrão)</b>	<b>TRAÇO 4.1</b>	<b>TRAÇO 4.2</b>	<b>TRAÇO 4.3</b>
<b>1/1,77/5,53/0,0/0,54</b>	<b>1/1,77/5,25/0,03/0,54</b>	<b>1/1,77/4,98/0,06/0,54</b>	<b>1/1,77/4,7/0,12/0,54</b>
130 gr cimento	260 gr cimento	260 gr cimento	260 gr cimento
230 gr areia	460 gr areia	460 gr areia	460 gr areia
719 gr pedrisco	1366 gr pedrisco	1294 gr pedrisco	1222 gr pedrisco
s/ britaleve	8 gr britaleve	16 gr britaleve	32 gr britaleve
70 gr água	140 gr água	140 gr água	140 gr água

**Fonte: AUTOR, 2008**

**Tabela 17: Traço 5 com adição de Britaleve®**

<b>TRAÇO 5 (padrão)</b>	<b>TRAÇO 5.1</b>	<b>TRAÇO 5.2</b>	<b>TRAÇO 5.3</b>
<b>1/2/4,97/0,0/0,57</b>	<b>1/2/4,73/0,03/0,57</b>	<b>1/2/4,48/0,06/0,57</b>	<b>1/2/4,23/0,09/0,57</b>
130 gr cimento	260 gr cimento	260 gr cimento	<b>260 gr cimento</b>
260 gr areia	520 gr areia	520 gr areia	<b>520 gr areia</b>
647 gr pedrisco	1230 gr pedrisco	1165 gr pedrisco	<b>1100 gr pedrisco</b>
s/ britaleve	7,2 gr britaleve	14,4 gr britaleve	<b>21,6 gr britaleve</b>
75 gr água	150 gr água	150 gr água	<b>150 gr água</b>

**Fonte: AUTOR, 2008**



**Figura 134: forma como foi mensurado o volume dos agregados, superior Britaleve® e inferior o pedrisco**

**Fonte: AUTOR, 2008**



**Figura 135: Corpos-de-prova depois de rompidos, traços 4.1, 4.2, 4.3, 5.1, 5.2 e 5.3.**

**Fonte: AUTOR, 2008**



**Figura 136: Corpos-de-prova após o rompimento, traços 4.1, 4.2, 4.3.**

**Fonte: AUTOR, 2008**

A partir dos resultados apresentados nas tabelas 18 e 19 (figuras 135 e 136), a melhor resistência à compressão está presente no projeto do traço 5. Estabelece-se por hipótese que o resultado do rompimento com a idade de 3 dias é de 40 à 50% do resultado aos 28 dias, **decidiu-se pelo traço 5.3** (tabela 17), com 15% de Britaleve®, pois com 28 dias este poderá apresentar resistência mais alta, e ao analisar a placa de 40x25 cm do piso ecológico, esta poderá ser maior, o que concretiza a utilização do traço com maior porcentagem de material reciclado.

**Tabela 18: Resultado do ensaio de resistência à compressão dos traços 4.1 (1 e 2 com 5%), 4.2 (3 e 4 com 10%) e 4.3 (5 com 15%).**

Corpos-de-prova	Diâmetro (mm)	Força (kN)	Tensão (MPa)
1	50.00	10.96	<b>5.58</b>
2	50.00	14.80	<b>7.54</b>
3	50.00	14.73	<b>7.50</b>
4	50.00	15.03	<b>7.66</b>
5	50.00	10.33	<b>5.26</b>

**Fonte: AUTOR, 2008**

**Tabela 19: Resultado do ensaio de resistência à compressão dos traços 5.1 (1 e 2 com 5%), 5.2 (3 e 4 com 10%) e 5.3 (5 com 15%).**

Corpos-de-prova	Diâmetro (mm)	Força (kN)	Tensão (MPa)
1	50.00	18.66	<b>9.50</b>
2	50.00	16.65	<b>8.48</b>
3	50.00	10.79	<b>5.50</b>
4	50.00	17.19	<b>8.76</b>
5	50.00	16.34	<b>8.32</b>

**Fonte: AUTOR, 2008**

### 3.6.4 Produção do Piso Ecológico

A partir do dimensionamento da peça do piso ecológico, estudado no item 3.4.3, elaborou-se a fôrma para a produção das peças, ou seja, o piso ecológico, confeccionado na Fábrica de Artefatos de Concreto da Universidade Estadual de Maringá. O processo foi executado manualmente, envolvendo as seguintes etapas:

- Elaboração da fôrma;
- Seleção do material;
- Produção da mistura do concreto;
- Moldagem e desforma das peças;
- Secagem;
- Cura.

A seguir descrevem-se as etapas citadas com detalhes.

A fôrma foi confeccionada com pedaços de metalão nas dimensões de 40 x 25 x 6 cm (CxLxA), e soldada uma chapa no fundo fechando as laterais, para segurar toda a mistura de concreto no momento da vibragem da peça (figuras 137, 138 e 139).



**Figura 137: Forma de metalão**

**Fonte: AUTOR, 2008**



**Figura 138: Dimensão da lateral da forma**

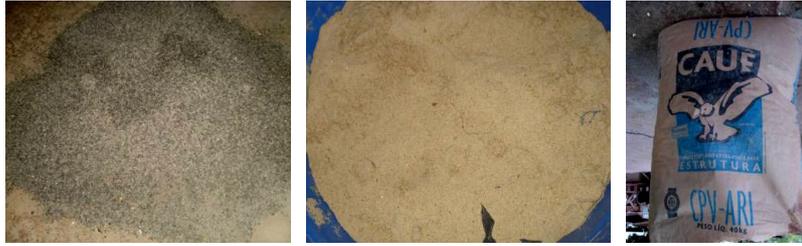
**Fonte: AUTOR, 2008**



**Figura 139: Dimensão do comprimento da forma**

**Fonte: AUTOR, 2008**

Os materiais, areia e pedrisco, foram cedidos pela Lajes Trellis Pré-fabricados. O cimento utilizado foi o CP V ARI do fabricante CAUÊ e os retalhos e apararas de E.V.A. foram utilizados do fabricante Britaleve® (figura 140).



**Figura 140: Materiais utilizados**

**Fonte: AUTOR, 2008**

O traço foi medido em volume para a execução do concreto. A mistura dos materiais para a fabricação do piso ecológico seguia, primeiramente, a colocação na betoneira do pedrisco, da areia, do cimento, dos resíduos de E.V.A. e um pouco d'água. Ligava-se a betoneira para misturar um pouco os materiais, em seguida acrescentava-se o restante da água e o material era misturado mais vezes, para a finalização do concreto (figura 141). Cada medição do material, em relação ao traço, colocado na betoneira rendeu a moldagem de 7 peças.



**Figura 141: mistura na betoneira e posteriormente colocada na carriola**

**Fonte: AUTOR, 2008**

Após a mistura, o concreto era transportado em uma carriola para mais próximo da mesa vibratória, onde as fôrmas de metalão, untadas com óleo diesel (figura 142), eram preenchidas de concreto e depois vibradas (figura 143) por alguns segundos, o que permitia seu preenchimento, sem que a mistura se compactasse demais na fôrma, obtendo uma peça permeável. Depois de vibradas as peças eram regularizadas na face superior (figura 144).



**Figura 142: Fôrma untada com óleo diesel**

**Fonte: AUTOR, 2008**



**Figura 143: Preenchimento da fôrma e adensamento com a mesa vibratória**

**Fonte: AUTOR, 2008**



**Figura 144: Regularização da superfície da peça**

**Fonte: AUTOR, 2008**

Na seqüência, o processo de desforma foi executado sobre paletes de madeira, untados com óleo diesel. As fôrmas eram viradas e pressionadas (para segurar toda a mistura) sobre os paletes (figura 145 e 146). Depois a forma era removida, deixando a peça moldada sobre a madeira para secagem por no mínimo 48 horas (figura 147). E na seqüência as mesmas eram levadas para a cura na câmara úmida do Laboratório de Construção Civil da Universidade Estadual de Maringá (figura 148).



**Figura 145: Desenforma da peça sobre base de madeira**

**Fonte: AUTOR, 2008**



**Figura 146: Peça sobre base de madeira, aparência da peça úmida**

**Fonte: AUTOR, 2008**



**Figura 147: Secagem das peças sobre a base de madeira, aparência da peça seca**

**Fonte: AUTOR, 2008**



**Figura 148: Peças na câmara úmida**

**Fonte: AUTOR, 2008**

## 4 MÉTODOS DE ENSAIOS E MATERIAIS

---

### 4.1 PROPRIEDADES AVALIADAS – MÉTODOS DE ENSAIOS

No caso do piso ecológico, deseja-se que o mesmo apresente bom desempenho mecânico e seja durável atendendo a sua função de pavimentação pública para pedestre. Assim, são analisadas algumas características para analisar sua qualidade como produto desenvolvido.

Considerando que um dos objetivos deste trabalho é avaliar a sua aplicabilidade na pavimentação do meio urbano, algumas das características do piso a ser desenvolvido, foram definidas através de variáveis que caracterizam o seu desempenho técnico, e estão a seguir relacionadas:

Testes no Modelo/Protótipo Base:

1. Resistência à compressão;
2. Resistência à flexão;
3. Permeabilidade.

As experimentações, normalmente são realizadas com duplo propósito: quantificar a relação entre a importância de algumas das variáveis mensuráveis e o conjunto de fatores experimentais que podem afetá-las. A experiência tem também a função de encontrar os valores dos fatores que produzem o melhor, ou os melhores valores de resposta (CORNELL, 1990, apud FIORITI, 2007). Deste modo é possível descobrir quais são as possibilidades de aplicações do material.

#### 4.1.1 Método para realização do ensaio de resistência à compressão

O ensaio de resistência à compressão foi realizado conforme a NBR 9780 (1987): Peças de concreto para pavimentação – Determinação da resistência à compressão. Esta norma assume que todas as características dos pisos de concreto devem estar diretamente relacionadas com a resistência a compressão.

Neste ensaio foi utilizada uma prensa com placas auxiliares acopladas, e por várias chapas de papelão superpostas nas duas faces, como a utilizada por FIORITI (2007, figura 149). O procedimento de ensaio constitui-se pela aplicação de carga contínua, no eixo da peça, até

o momento da ruptura. A velocidade de aplicação de carga deve ser entre  $300 \text{ KPa s}^{-1}$  e  $800 \text{ KPa s}^{-1}$ .



**Figura 149: Paver na prensa durante ensaio de compressão**

**Fonte: FIORITI, 2007**

Conforme a NBR 9781 (1987), para se ter uma amostragem representativa, as peças devem ser retiradas inteiras e do mesmo lote. Para efeito da Norma são adotados nas peças pré-moldadas, de formato geométrico regular, as seguintes dimensões: comprimento máximo de 400mm, largura mínima de 100mm e altura mínima de 60 mm. A resistência característica estimada à compressão, deve ser maior ou igual a 35 MPa, para as solicitações de carga devido aos veículos comerciais de linha.

#### **4.1.1.1 Procedimento para os resultados do teste de resistência à compressão**

Segundo a NBR 9781 (1987), admite-se que a resistência à compressão obedeça ao valor característico estimado pela expressão:

$$f_{pk} = f_p - t \cdot s \quad (\text{Eq. 4.1.1})$$

Onde:

$f_{pk}$  = resistência característica a compressão, em MPa;

$f_p$  = resistência média das peças ensaiadas de acordo com a NBR 9780, em MPa;

$S$  = desvio padrão amostral (equação 4.1.2), em MPa;

$$S = \sqrt{\frac{\sum (f_p - f_{pi})^2}{n - 1}} \quad (\text{Eq. 4.1.2})$$

$f_{pi}$  = resistência individual das peças ensaiadas de acordo com a NBR 9780, em MPa;

$n$  = número de peças da amostra;

$t$  = coeficiente de student, fornecido pela tabela abaixo, em função do tamanho da amostra;

**Tabela 20: coeficiente de Student (nível de confiança de 80%)**

n	t	n	t
6	0,920	18	0,863
7	0,906	20	0,861
8	0,896	22	0,859
9	0,889	24	0,858
10	0,883	26	0,856
12	0,876	28	0,855
14	0,870	30	0,854
16	0,866	≥ 32	0,842

Fonte: NBR 9781, 1987

A resistência à compressão (em MPa) da peça é dada pela equação 4.1.3:

$$f_p = \frac{\text{carga}(N)}{\text{área}(\text{mm}^2)} \cdot p \quad (\text{Eq. 4.1.3})$$

Onde:

$f_p$  = resistência média das peças ensaiadas de acordo com a NBR 9780, em MPa;

$p$  = fator de correção da resistência à compressão estabelecida na NBR 9781 (1987);

**Tabela 21: Fator Multiplicativo de “p” de correção da resistência à compressão**

Altura nominal da peça (mm)	Fator multiplicativo "p"
60	0,95
80	1,00
100	1,05

Fonte: NBR 9780, 1987

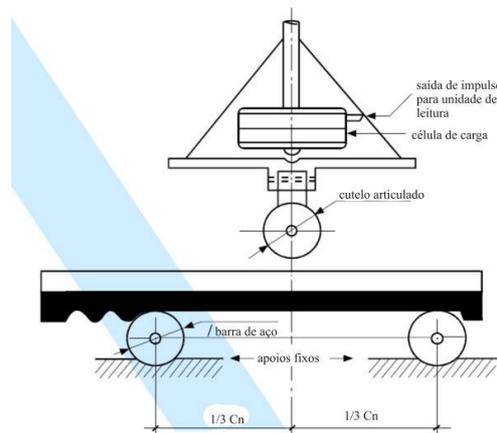
Este é o teste limitante para verificar a aplicabilidade do material e definir se o objetivo para a função (pavimentação urbana, voltada ao pedestre) do piso será atendida. Para que seja aceitável a resistência do produto deverá ser:  $F_{pk} \geq 35$  MPa, segundo a NBR 9781 (1987).

#### 4.1.2 Método de ensaio para determinação da carga de ruptura à flexão

O ensaio de resistência à flexão da peça do piso ecológico foi realizado conforme a NBR 13858-2 (2007): Telhas de concreto – Parte 2: Requisitos e métodos de ensaio. O ensaio foi adaptado desta norma devido à não existência de norma específica para a avaliação desta propriedade.

O princípio deste ensaio consiste na aplicação de uma força uniformemente distribuída, com velocidade constante e aplicada transversalmente no centro da placa do piso, com pontos de apoio em contato com a face superior da peça (NBR 13858-2/2007).

A aparelhagem necessária para a realização do ensaio consiste em uma prensa (ou outro dispositivo) que possibilite a aplicação de carga progressiva e sem golpes, tendo resolução igual a 10 N ou 1 Kgf. Compõem ainda o sistema de ensaio mais duas barras de aço de secção circular (38mm) e um cutelo articulado à máquina (figura 150).



**Figura 150: Esquema da aparelhagem**

**Fonte: NBR 13858-2, 2007**

Procedimento para determinar a carga de ruptura à flexão, conforme a NBR 13858-2 (2007):

- Emergir os corpos-de-prova em água por 24 horas;
- Os corpos-de-prova devem ser inteiros e isentos de defeitos de fabricação;
- Posicionar o corpo-de-prova sobre as barras de apoio fixas, a distância de 2/3 do comprimento do corpo-de-prova, conforme a figura 150;
- Posicionar a barra articulada centralizada transversalmente ao corpo-de-prova;
- Ligar a prensa e aplicar a carga, progressivamente e sem golpes, não excedendo a velocidade de carregamento de  $100 \pm 10$  N/s.

#### 4.1.2.1 Procedimento para os resultados do teste de resistência à flexão

A resistência à flexão conforme a Fórmula de Flexão da Resistência dos Materiais é expressa na equação:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{M \cdot Y}{I_z} \quad (\text{Eq. 4.2.1})$$

Onde:

$\sigma_{m\acute{a}x}$  = é a tensão máxima na peça;

M = momento fletor máximo;

I = momento de inércia da seção transversal;

Y = distancia da linha neutra até o ponto da seção mais tracionado.

$$M = \frac{F \cdot d}{4} \quad (\text{Eq. 4.2.2})$$

$$I_z = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad (\text{Eq. 4.2.3})$$

$$Y = \frac{h}{2} \quad (\text{Eq. 4.2.4})$$

Onde:

F = força expressa em Newtons;

d = distância entre os eixos de apoio utilizado no teste de ruptura;

b = base, largura da peça, no caso 25 cm ou 250 mm;

h = é a altura da peça, no caso 6 cm ou 60 mm;

Adotando que a resistência máxima da peça é igual a  $\sigma_{m\acute{a}x}$ . A resistência individual de cada peça então é conhecida a partir da equação abaixo:

$$f_{fi} = \frac{3}{2} \cdot \frac{F \cdot d}{b \cdot h^2} \quad (\text{Eq. 4.2.5})$$

Admite-se assim, que a resistência característica à flexão do piso pode ser estimada pela expressão:

$$f_{fk} = f_{fi} - t \cdot s \quad (\text{Eq. 4.2.6})$$

Onde:

$f_{fk}$  = resistência característica à flexão, em MPa;

$f_{fi}$  = resistência média das peças ensaiadas, em MPa;

S = desvio padrão amostral (equação 4.1.2), em MPa;

$$S = \sqrt{\frac{\sum (f_{fk} - f_{fi})^2}{n - 1}} \quad (\text{Eq. 4.1.2})$$

$f_{fi}$  = resistência individual das peças ensaiadas, em MPa;

n = número de peças da amostra;

t = coeficiente de student, fornecido pela tabela 15, em função do tamanho da amostra;

Este é o teste para verificar a aplicabilidade do material e definir uma comparação com os pisos similares encontrados no mercado. Com o resultado se poderá alcançar uma comparação em relação aos outros pisos.

#### 4.1.3 Método de ensaio para determinação da permeabilidade do piso ecológico

De acordo com MEHTA e MONTEIRO (1994), permeabilidade é a propriedade que indica a facilidade que um fluido tem ao passar através de uma estrutura interna em um determinado material poroso. Esta é denominada de condutividade hidráulica, também conhecida como coeficiente de permeabilidade (K).

Conforme MOURA (2000), a porosidade do concreto é influenciada principalmente pela relação água/cimento e o grau de hidratação, sendo estes os principais fatores que influenciam na maior ou menor facilidade de transporte de líquidos ou gases pelo concreto (porosidade capilar). Assim, a permeabilidade da pasta de cimento é controlada pela porosidade capilar.

O agregado, geralmente tem sua permeabilidade menor que a da pasta, sendo a permeabilidade do concreto pouco influenciada pelo agregado. Entretanto, alguns agregados, apesar de apresentarem menor porosidade, possuem maior permeabilidade do que a pasta. Isso pode ser explicado porque além dos poros estarem interconectados, o tamanho destes poros capilares é bem maior que os poros da pasta. Em outro aspecto, a permeabilidade aumenta com o tamanho dos grãos do agregado, devido às características da zona de interface agregado-pasta. Neste sentido, a influência do agregado miúdo está relacionada à sua capacidade de ocupar maior espaço no concreto (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

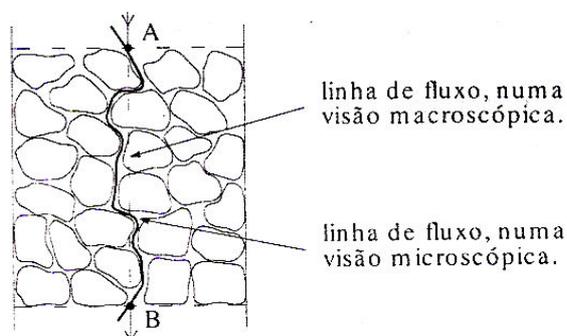
Para HALL (1998, apud MOURA, 2000), o agregado pode ter influência significativa sobre a permeabilidade. Esta influência está associada à possibilidade de reduzir o

consumo de água na mistura, portanto a granulometria, forma e textura dos grãos do agregado, influenciam na permeabilidade do concreto.

Para a execução deste teste foi proposta a adaptação do método utilizado para verificar a permeabilidade do solo, pois não existe uma norma específica para verificar essa propriedade no concreto. Como resultado deste método tem-se a comparação da permeabilidade da peça do piso ecológico com a permeabilidade de tipologias de solo como pedregulho, areia grossa, areia fina, etc.

O teste consiste na análise de um fluxo de água em um meio poroso. Todos os poros, ou vazios, de um solo estão interligados, e assim formam canais por onde “água pode migrar quando da existência de um potencial hidráulico ativo”. Como os poros estão interligado, ou intercomunicados, a água flui livremente como se estivesse escoando por canais ou mesmo por tubos (BELINCANTA, 2001, p. 10).

A figura 151 representa um solo homogêneo e saturado, por onde a água flui do ponto A para o ponto B, passando de poro em poro em um fluxo tortuoso e como um canal de seção transversal e direção variada. Desta forma, a intensidade e direção da água influem na velocidade, que varia de ponto a ponto, conforme o tamanho do poro e de sua posição (BELINCANTA, 2001).



**Figura 151: Representação do fluxo d'água**

**Fonte: BELINCANTA, 2001**

Assim, a realização do teste foi definida pela lei de Darcy, que considera a vazão d'água através de uma amostra de solo homogênea, de regime laminar, diretamente proporcional à perda de carga total entre os pontos A e B, e proporcional à área total perpendicular às linhas de fluxo e, inversamente proporcional ao comprimento das linhas de fluxo. Sendo representado pela expressão abaixo (BELINCANTA, 2001):

$$Q_t = K_t A \frac{h}{e} = K_t \cdot A \cdot i \quad (\text{Eq. 4.3.1})$$

Onde:

$Q_t$  = vazão na temperatura do ensaio (cm<sup>3</sup>/s);

$A$  = área transversal do corpo-de-prova (cm<sup>2</sup>);

$h$  = carga hidráulica (desnível d'água, cm);

$e$  = espessura do corpo-de-prova (comprimento das linhas de fluxo, cm);

$i$  = gradiente hidráulico ( $h/e = i$ );

A partir da equação da Lei de Darcy (4.3.1), o coeficiente de permeabilidade  $K$  pode ser expresso pela equação 4.3.2:

$$K_t = \frac{V \cdot e}{h \cdot A \cdot t} \quad (\text{Eq. 4.3.2})$$

Onde:

$V$  = volume d'água (cm<sup>3</sup>);

$e$  = espessura do corpo-de-prova (comprimento das linhas de fluxo, cm);

$h$  = carga hidráulica (desnível d'água, cm);

$A$  = área transversal do corpo-de-prova (cm<sup>2</sup>);

$t$  = tempo (s).

A temperatura da água influencia na permeabilidade do solo, pois a permeabilidade se dá através do peso específico e da viscosidade do fluido. “Ao considerar desprezível a influência do peso específico e tomando a temperatura de 20°C como referência”, a expressão utilizada para a correção do coeficiente de permeabilidade na temperatura do ensaio para a temperatura de 20°C é a equação 4.3.3 (BELINCATA, 2001, p. 15):

$$K_{20} = \frac{\mu_1}{\mu_{20}} \cdot K_t \quad (\text{Eq. 4.3.3})$$

Onde:

$K_{20}$  = coeficiente de permeabilidade à 20°C;

$\mu_1$  = viscosidade da água na temperatura do ensaio, dada pela tabela 17, onde os valores são universais;

$\mu_{20}$  = viscosidade da água na temperatura de 20°C, dada pela tabela 22, onde os valores são universais;

$K_t$  = coeficiente de permeabilidade na temperatura do ensaio, obtida através da equação 4.3.2.

**Tabela 22: Valores da viscosidade d'água conforme a temperatura**

Temperatura (°C)	Viscosidade (gf.s/cm <sup>2</sup> )
20	10,29x10 <sup>-6</sup>
23	9,56x10 <sup>-6</sup>
24	9,34x10 <sup>-6</sup>
25	9,13x10 <sup>-6</sup>
25,5	9,03x10 <sup>-6</sup>
26	8,92x10 <sup>-6</sup>
27	8,72x10 <sup>-6</sup>
28	8,52x10 <sup>-6</sup>
29	8,34x10 <sup>-6</sup>

**Fonte: valores universais, adaptado NBR 7181/84**

## 4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS NA FABRICAÇÃO DO PISO ECOLÓGICO

Os materiais utilizados para a composição do piso ecológico foram caracterizados conforme as normas da ABNT, com testes realizados no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade Estadual de Maringá, e para alguns materiais foram utilizadas as especificações dos fabricantes.

### 4.2.1 Cimento

Foi utilizado o cimento Portland de Alta Resistência Inicial, CP V ARI. A opção por este material se dá por seu tempo de cura reduzido e possibilidade de rápida desforma, proporcionando maior rotatividade no estoque, maior velocidade de fabricação das peças, redução de custo de mão-de-obra e economia. Conforme a NBR 6474/84 este material possui massa específica de 3.140Kgm<sup>-3</sup>.

A tabela 23 apresenta as especificações do cimento CP V ARI, segundo a NBR-5733 (1991). E na tabela 24 e gráfico 01 estão os resultados, fornecidos pelo fabricante, da resistência à compressão que o cimento Portland pode atingir.

**Tabela 23: Especificações do cimento CP V ARI, segundo a NBR-5733 (1991).**

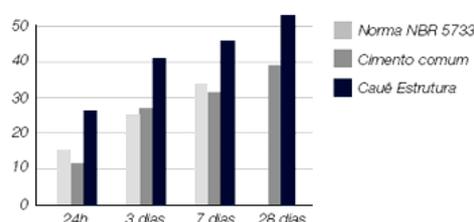
CP V ARI	Especificações
<b>Ensaio Físicos</b>	
Blaine ( $\text{cm}^2\text{g}^{-1}$ )	$\geq 3000$
Tempo de início de pega (h:min.)	$\geq 1$
Tempo de fim de pega (h:min.)	$\leq 10$
Finura da peneira # 200 (%)	$\leq 6,0$
Expansibilidade a quente (mm)	$\leq 5,0$
Resistência à compressão 1 dia (MPa)	$\geq 14,0$
Resistência à compressão 3 dia (MPa)	$\geq 24,0$
Resistência à compressão 7 dia (MPa)	$\geq 34,0$
<b>Ensaio Químicos</b>	
Perda ao fogo (%)	$\leq 4,5$
Resíduo Insolúvel (%)	$\leq 1,0$
Trióxido de enxofre – $\text{SO}_3$ (%)	$\leq 3,5$
Óxido de magnésio – MgO (%)	$\leq 6,5$

Fonte: NBR 5733, 1991

**Tabela 24: Resistências mecânicas à compressão**

Resistência mecânica à compressão (MPa)				
Idades	24 horas	3 dias	7 dias	28 dias
Cauê Estrutura	26.5	40.5	46.2	54.2
Cimento Comum	11.0	26.0	31.2	39.0
Norma NBR 5733	$> 14.0$	$> 25.0$	$> 34.0$	

Fonte: CAUÊ CIMENTO, 2009<sup>34</sup>

**Gráfico 1: Resistências mecânicas à compressão - comparação**

Fonte: CAUÊ CIMENTO, 2009

<sup>34</sup> Disponível em <[www.cimentocauê.com.br](http://www.cimentocauê.com.br)>, acessado em 20 de janeiro de 2009.

### 4.2.2 Água

Foi utilizada água potável, proveniente do abastecimento da empresa concessionária, SANEPAR, na cidade de Maringá – PR, onde se encontra Universidade Estadual de Maringá.

### 4.2.3 Agregados

#### 4.2.3.1 Agregado miúdo – Areia

Na dosagem do concreto para o piso ecológico a areia foi utilizada como agregado miúdo. Conforme a análise granulométrica (tabela 25), realizada segundo a NBR 7217/87, a areia utilizada possui diâmetro máximo característico de 1,2 mm, módulo de finura (MF) igual a 1,80, sendo classificada como muito fina, conforme a NBR 7211/83. Com massa unitária de  $1,571 \text{ kg} \cdot (\text{dm})^{-3}$ , conforme a NBR 7251/82 e massa específica de  $2.857 \text{ g} \cdot (\text{cm})^{-3}$ .

**Tabela 25: Resultado do ensaio de análise granulométrica do agregado miúdo - areia**

Peneira	Massa (g)	% Retida	% Retida e Acumulada
4,8	596,70	1,23	0,13
2,4	577,45	3,55	0,35
1,2	434,23	23,06	2,30
0,6	500,18	109,27	10,90
0,3	863,20	508,40	50,80
0,15	686,46	338,30	33,80
Fundos	495,4	15,82	1,60
Total (g)	999,63		
<b>Diâmetro máximo característico: 1.2 mm</b>			
<b>Módulo de finura: MF = 1.8</b>			

Fonte: AUTOR, 2008

#### 4.2.3.1 Agregado graúdo - Pedrisco de Basalto

Como agregado graúdo foi utilizado pedra britada de origem basáltica. Sua massa específica é de  $2,828 \text{ kg} \cdot (\text{dm})^{-3}$  e absorção de 1,97%, conforme o método da Balança Hidrostática apresentada na tabela 26. A massa unitária é de  $1,438 \text{ kg} \cdot (\text{dm})^{-3}$ , segundo a NBR 7251/82. A análise granulométrica é apresentada na tabela 27 e o ensaio foi realizado de acordo com a NBR 7217/87.

**Tabela 26: Resultados do ensaio de determinação da absorção e da massa específica do agregado graúdo – brita de basalto**

Amostra n°	Massa(g) das amostras nas condições:			Massa Específica do Agregado na Condição Seca ( $\gamma_s$ ) (kg.(dm) <sup>-3</sup> )	Absorção do Agregado (ABS) (%)
	Seca (M <sub>1</sub> )	Saturada Superfície Seca (M <sub>2</sub> )	Imersa em água (M <sub>3</sub> )		
1	589,03	600,89	392,93	2,8324	2,01
2	588,70	600,06	392,90	2,8417	1,93
3	588,34	600,04	390,65	2,8098	1,99
<b>Valores médios obtidos:</b>				<b>2,828</b>	<b>1,97</b>
				$\gamma_s = \frac{M_1}{M_2 - M_3}$	$ABS = \frac{(M_2 - M_1)}{M_1} \cdot 100$

Fonte: AUTOR, 2008

**Tabela 27: Resultado do ensaio de análise granulométrica do agregado graúdo – brita de basalto**

Peneira	Massa (g)	% Retida	% Retida e Acumulada
12,7	0,0	0	0
9,5	20,47	2.0	2.0
6,3	529,05	52.9	54.98
4,8	282,18	28.2	83.1
2,4	163,4	16.3	99.4
1,2	2,57	0.2	99.6
0,6	0,27	0.0	99.6
0,30	0,26	0.0	99.6
0,15	----	----	99.6
Fundos	0,83	0.4	100.0
Total (g)	999,03		
<b>Diâmetro máximo característico: 9.5mm</b>			

Fonte: AUTOR, 2008

#### 4.2.3.2 Agregado reciclado – Resíduo de etileno-acetato de vinila (E.V.A.)

Como agregado reciclado utilizou-se o resíduo de retalhos e aparas do copolímero de etileno-acetato de vinila (E.V.A.), usado na elaboração de solados, palmilhas e entre-solas de calçados. Este resíduo é reciclado, padronizado e tratado pela MAISON Indústria e Comércio de Artefatos de Cimento Ltda., que o denominou de BRITALEVE®. Sua comercialização é realizada em sacos de 100 litros.

A densidade aparente do material seco é de 150 a 170 kgm<sup>-3</sup> e análise granulométrica apresentada na tabela 28, informados pelo fabricante<sup>35</sup>.

**Tabela 28: Análise granulométrica do resíduo de E.V.A.**

<b>Peneira</b>	<b>Massa (g)</b>	<b>% Retida</b>	<b>Acumulada</b>
6,3	0,069	35	35
4,8	0,070	35	70
2,4	0,055	28	98
1,2	0,004	2	100
Total (g)	0,198		
<b>Diâmetro máximo característico: 6.3mm</b>			

**Fonte: BRITALEVE®, 2009, adaptado**

---

<sup>35</sup> Disponível em <[www.britaleve.com.br](http://www.britaleve.com.br)>, acessado em 20 de janeiro de 2009.

## 5 ENSAIOS, RESULTADOS, ANÁLISES E DISCUSSÕES

---

### 5.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO PISO ECOLÓGICO

O ensaio de resistência à compressão foi realizado conforme a NBR 9780 (1987): Peças de concreto para pavimentação – Determinação da resistência à compressão, conforme descrito no item 4.1.1. Na realização do ensaio foi adotado o método de capeamento<sup>36</sup> já utilizado por FIORITI (2007), que consistiu em substituir o capeamento tradicional (enxofre ou gesso) por chapas de papelão sobrepostas nas duas faces da peça<sup>37</sup>, o carregamento foi aplicado de forma contínua até o momento da ruptura das peças do piso ecológico (figuras 152 e 153). Este ensaio foi realizado no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade Estadual de Maringá.

O alinhamento da peça na prensa seguiu o seu centro de gravidade que coincidiu com o alinhamento do centro das placas auxiliares de aço de diâmetro de 90 mm e altura de 30 mm e área de contato de 6361,725 mm<sup>2</sup>. Os comandos foram controlados para aplicar a força aumentando-a gradativamente até a ruptura da peça (figuras 154).

Foram ensaiados 6 exemplares do piso ecológico, com idades de 7 e 28 dias. O ensaio da idade de 7 dias, se faz importante, para conhecer a resistência à compressão da peça para que dentro do processo de fabricação o piso possa ser entregue para instalação com 7 dias. A idade de 28 dias é importante, por sua vez, para o conhecimento da resistência final que o piso ecológico irá possuir.

---

<sup>36</sup> Consiste no revestimento dos topos dos corpos-de-prova com fina camada de material apropriado (PREFIETURA DE RECIFE, 2003).

<sup>37</sup> Lembrando que a NBR 9780 (1987), determina que as superfícies de carregamento podem ser capeadas com argamassa de enxofre ou similar, com espessura inferior a 3mm.



**Figura 152: Prensa utilizada para a realização do teste de resistência à compressão**

**Fonte: AUTOR, 2008**



**Figura 153: Utilização do papelão como capeamento das peças**

**Fonte: AUTOR, 2008**



**Figura 154: Detalhe da ruptura das peças**

**Fonte: AUTOR, 2008**

A resistência de cada peça expressa em MPa, foi obtida através da equação 4.1.3:

$$f_p = \frac{\text{carga}(N)}{\text{área}(\text{mm}^2)} \cdot 0,95 \quad (\text{Eq. 4.1.3})$$

E a resistência característica, em MPa, foi obtida a partir da equação 4.1.1:

$$f_{pk} = f_p - t \cdot s \quad (\text{Eq. 4.1.1})$$

Os resultados das cargas, em Kgf, e a resistência à compressão, em MPa, do piso ecológico são conhecidos nas tabelas 29 e 30 abaixo:

**Tabela 29: Resistência à compressão do piso ecológico, idade de 7 dias**

Data do ensaio: 17/12/2008		Idade: 7 dias	
CP	Força da Máquina (kgf)	Força (N)	Resistência do CP (Mpa)
1	10620,00	106200,00	15,86
2	9260,00	92600,00	13,83
3	9900,00	99000,00	14,78
4	11960,00	119600,00	17,86
5	8840,00	88400,00	13,20
6	11100,00	111000,00	16,58
Resistência média MPa = 15,35 MPa			
Desvio padrão = 1,75			
<b>Resistência característica = 13,74 MPa</b>			

Fonte: AUTOR, 2008

**Tabela 30: Resistência à compressão do piso ecológico, idade de 28 dias**

Data do ensaio: 14/01/2009		Idade: 28 dias	
CP	Força da Máquina (kgf)	Força (N)	Resistência do CP (Mpa)
1	10460,00	104600,00	15,62
2	10340,00	103400,00	15,44
3	10960,00	109600,00	16,37
4	12540,00	125400,00	18,73
5	10340,00	103400,00	15,44
6	10928,00	109280,00	16,32
Resistência média MPa = 16,32 MPa			
Desvio padrão = 1,25			
<b>Resistência característica = 15,17 MPa</b>			

Fonte: AUTOR, 20089

Conforme a NBR 9781 (1987), a resistência característica do lote de peças de concreto para pavimentação deve possuir no mínimo 35 MPa para solicitações de carga de veículos comerciais de linha e 50 MPa para tráfego de veículos especiais ou para acentuados efeitos

de abrasão. O piso ecológico tem o objetivo de ser aplicado em locais como passeios públicos, praças, etc. locais com tráfego de pedestre, bicicletas, etc.

Portanto obedecendo a NBR 9781 (1987) o piso ecológico deve possuir resistência  $\geq 35$  MPa. A tabela 30 mostra que a resistência característica do piso ecológico é de 15,17MPa, o que não atende a norma brasileira. Mas, conforme FIORITI (2007), as normas da Austrália e África do Sul mostram que a resistência de 15 MPa é suficiente para suportar as sobrecargas exigidas em locais como calçadas, praças e espaços com trânsito leve. Mostrando que o piso ecológico pode ser aplicado nos espaços públicos voltado ao trânsito de pedestres com sua resistência à compressão igual a 15,17MPa.

## 5.2 RESISTÊNCIA À FLEXÃO DO PISO ECOLÓGICO

O ensaio de resistência à flexão foi realizado conforme a NBR 13858 (2007): Telhas de Concreto – Parte 2: Requisitos e métodos de ensaio, conforme descrito no item 4.1.2. Na realização do ensaio foi adotado o uso de três barras de ferro de 38 mm de diâmetro, para a adaptação da prensa existente (figura 157). O ensaio foi realizado no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade Estadual de Maringá.

Foram ensaiadas 6 (seis) peças, que ficaram submersas em água durante 24 horas antes da realização do teste (figura 155). A marcação do eixo central, na face superior da peça, foi aos 20 cm e dos apoios na parte inferior da peça com 13,30 cm, a partir do centro da peça (figura 156).

A carga foi aplicada progressivamente e sem golpes, até o momento da ruptura da peça. Os testes foram realizados, com idades do corpo-de-prova de 7 e 28 dias, buscando a justificativa apresentada para o teste de resistência à compressão.

Os resultados foram obtidos a partir das equações apresentadas no item 4.1.2.1. A resistência à flexão do piso ecológico esta apresentada nas tabelas 31 e 32.



**Figura 155: Corpos-de-prova imersos na água**

**Fonte: AUTOR, 2008**



**Figura 156: Marcação dos eixos no corpo-de-prova**

**Fonte: AUTOR, 2008**



**Figura 157: Corpo-de-prova na prensa, posicionamento das barras de ferro e ruptura.**

**Fonte: AUTOR, 2008**



**Figura 158: Ruptura do corpo-de-prova**

**Fonte: AUTOR, 2008**



**Figura 159: Corpos-de-prova rompidos**

**Fonte: AUTOR, 2008**

**Tabela 31: Resistência à flexão do piso ecológico, idade de 07 dias**

<b>Data do ensaio: 17/12/2008</b>		<b>Idade: 07 dias</b>	
<b>CP</b>	<b>Força da Máquina (kgf)</b>	<b>Força (N)</b>	<b>Resistência do CP (Mpa)</b>
1	480,00	4800,00	2,13
2	600,00	6000,00	2,66
3	620,00	6200,00	2,75
4	840,00	8400,00	3,72
5	920,00	9200,00	4,08
6	960,00	9600,00	4,26
Resistência média MPa = 3,27 MPa			
Desvio padrão = 0,87			
<b>Resistência característica = 2,14 MPa</b>			

**Fonte: AUTOR, 2008**

**Tabela 32: Resistência à flexão do piso ecológico, idade de 28 dias**

<b>Data do ensaio: 14/01/2009</b>		<b>Idade: 28 dias</b>	
<b>CP</b>	<b>Força da Máquina (kgf)</b>	<b>Força (N)</b>	<b>Resistência do CP (Mpa)</b>
1	860,00	8600,00	3,81
2	880,00	8800,00	3,90
3	940,00	9400,00	4,17
4	990,00	9900,00	4,39
5	1160,00	11600,00	5,14
6	1100,00	11000,00	4,88
Resistência média MPa = 4,38 MPa			
Desvio padrão = 0,53			
<b>Resistência característica = 3,89 MPa</b>			

**Fonte: AUTOR, 2009**

Com os resultado deste teste pode-se estabelecer uma comparação do piso ecológico com outros produtos existentes no mercado, pelo fato de não existir uma normativa específica para a avaliação desta propriedade mecânica. Assim, ao comparar o resultado do teste do

piso ecológico com o piso drenante (Braston) de resistência à flexão de 4,1 MPa e, com as placas de concreto (item 3.5.1) que possuem resistência à flexão de 3,5 MPa, pode-se dizer que o resultado da resistência à tração do piso ecológico é satisfatório para a sua aplicabilidade em passeios públicos.

### 5.3 PERMEABILIDADE DO PISO ECOLÓGICO

O teste foi realizado conforme a Lei de Darcy, exemplificada no item 4.1.3. A montagem do teste busca mensurar o coeficiente de permeabilidade do piso ecológico. O teste foi realizado, no Laboratório de Mecânica dos Solos da Universidade Estadual de Maringá, no dia 29 de janeiro de 2009, com o piso possuindo idade superior a 30 dias.

Para que a placa do piso pudesse se constituir como uma amostra, esta foi dividida ao meio, ganhando dimensões de aproximadamente 20x25x6 cm (CxLxA), com a intenção de melhor adaptar o ensaio as condições do laboratório.

Primeiramente a amostra foi preparada com a regularização das peças, através do preenchimento das falhas da peça com argamassa de cimento (figura 160). A selagem das laterais foi obtida com aplicação de parafina (figura 161), pois a intenção do ensaio é medir a capacidade de passagem da água pela face superior da amostra. Após a vedação das laterais, a mostra foi colocada em uma caixa de metal elaborada para o ensaio (figura 162 e 163), as dimensões do fundo da caixa são de 19 x 24 cm. A folga entre as laterais da peça e da caixa fora preenchida com massa de vidraceiro e com bentonita (argila), esses dois materiais têm a função de vedar a passagem da água pela lateral. O acabamento sobre a bentonita foi finalizado com pedaços de madeira, para que esta não se espalhar com a adição da água (figura 164).



**Figura 160: Regularização das peças com argamassa de cimento**

**Fonte: AUTOR, 2009**



**Figura 161: Vedação das laterais com parafina**

**Fonte: AUTOR, 2009**



**Figura 162: Vista da caixa metálica**

**Fonte: AUTOR, 2009**



**Figura 163: Vista do fundo da caixa metálica**

**Fonte: AUTOR, 2009**



**Figura 164: Vedação das laterais entre a amostra e a caixa com bentonita e massa de vidraceiro**

**Fonte: AUTOR, 2009**

Os corpos-de-prova foram caracterizados com o auxílio de um parquímetro (figura 165), desconsiderando o preenchimento de parafina. As dimensões das amostras são conhecidas na tabela 33.



**Figura 165: Caracterização das amostras**

**Fonte: AUTOR, 2009**

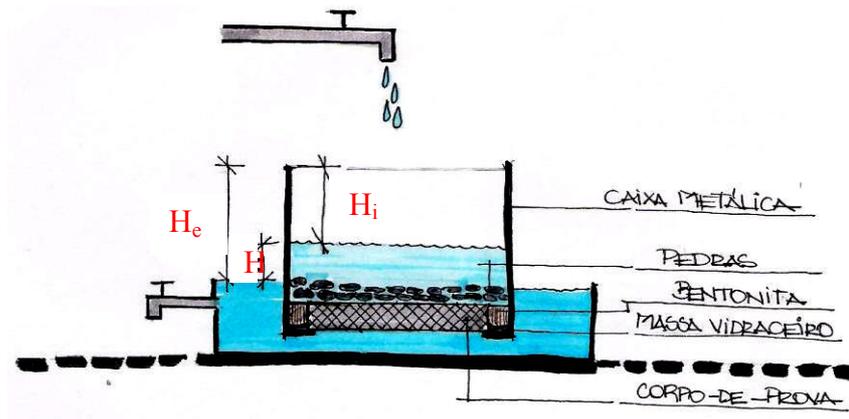
**Tabela 33: Caracterização das amostras**

<b>Amostra</b>	<b>Largura (cm)</b>	<b>Comprimento (cm)</b>	<b>Espessura (cm)</b>
1	19,2	24	6,1
2	19,7	24,6	6,1
3	19,6	24,5	6,1
4	20	25	6,1

**Fonte: AUTOR, 2009**

O esquema de montagem do ensaio consiste na utilização de uma torneira na face superior da caixa (fornecimento de água), uma bacia para manter um nível d'água externo a caixa (medir a altura da água), e um tanque para que a água que transborde sobre a bacia seja captada. A face superior a amostra foi protegida com pedras e um tubo de PVC<sup>38</sup>, os dois materiais auxiliam na distribuição da água pela face da peça e a manter o nível d'água estável, possibilitando uma medição mais precisa. O método está ilustrado nas figuras 166 e 167, abaixo.

<sup>38</sup> Para distribuir melhor a água e estabilizar o nível d'água afim de facilitar a medição.



**Figura 166: Croqui do esquema de montagem do ensaio**

**Fonte: AUTOR, 2009**



**Figura 167: Montagem do ensaio**

**Fonte: AUTOR, 2009**

Após submeter o corpo-de-prova ao processo de preparação, inicia-se propriamente o ensaio, mantendo por tempo conveniente o corpo-de-prova com uma carga hidráulica constante, ou seja, com  $\Delta H$  ou  $h$  (conforme a equação 4.3.1) constantes, e posteriormente mensurada a vazão necessária para que isto ocorra (BELINCANTA, 2001). Com o auxílio de uma régua transparente foi medida a altura interna, entre o nível d'água e a borda da caixa (figura 168) e posteriormente medida a altura externa da caixa, do nível d'água até a borda da caixa. Do valor da medição externa foi descontado o valor da medição interna e assim, obtendo o valor de  $\Delta H$  ou  $h$  (figura 166).



**Figura 168: Medição interna para determinar a perda de carga**

**Fonte: AUTOR, 2009**

A vazão pode ser obtida através do volume de água que é regularmente fornecido na entrada, no caso torneira superior (figura 167) ou pelo recolhimento da água na saída, sendo que o normal é a medição da vazão da entrada (BELINCANTA, 2001). Assim, foi mensurada a vazão da entrada (torneira superior), no ensaio esta medição foi realizada com o auxílio de um balde e um cronômetro (figura 169). O balde mede 10 litros d'água, ou seja,  $10.000 \text{ cm}^3$ , e o cronômetro mede o tempo que a torneira leva para fornecer a quantidade de  $10.000 \text{ cm}^3$  d'água, estipulada como referência.



**Figura 169: Instrumento de medição da vazão de entrada do ensaio**

**Fonte: AUTOR, 2009**

Os resultados do ensaio são conhecidos na tabela 34, abaixo:

**Tabela 34: Resultados do ensaio de permeabilidade**

Propriedades	Amostras (corpos-de-prova)			
	1	2	3	4
V = Volume ( $\text{cm}^3$ )	10.000	10.000	10.000	10.000
t = Tempo (s)	586	75	51	47
A = Área ( $\text{cm}^2$ )	456	456	456	456
e = espessura da amostra (cm)	6,1	6,1	6,1	6,1
h = carga hidráulica (cm)	20,4	9,9	6,6	10,2
T = temperatura do ensaio ( $^{\circ}\text{C}$ )	26	25,5	25,5	25
<b><math>K_t</math> = coeficiente de permeabilidade na temperatura do ensaio</b>	<b><math>1,10 \times 10^{-2}</math></b>	<b><math>1,80 \times 10^{-1}</math></b>	<b><math>3,97 \times 10^{-1}</math></b>	<b><math>2,79 \times 10^{-1}</math></b>
$\mu_1$ = viscosidade da água na temperatura do ensaio (tabela 17)	$8,92 \times 10^{-6}$	$9,03 \times 10^{-6}$	$9,03 \times 10^{-6}$	$9,13 \times 10^{-6}$
$\mu_{20}$ = viscosidade da água na temperatura de $20^{\circ}\text{C}$ (tabela 17)		$10,29 \times 10^{-6}$		
<b><math>K_{20}</math> = coeficiente de permeabilidade à <math>20^{\circ}\text{C}</math></b>	<b><math>9,54 \times 10^{-3}</math></b>	<b><math>1,58 \times 10^{-1}</math></b>	<b><math>3,48 \times 10^{-1}</math></b>	<b><math>2,48 \times 10^{-1}</math></b>

**Fonte: AUTOR, 2009**

Ao analisar o resultado de  $K_{20}$ , na tabela 34, tem-se a hipótese de que na amostra 1, durante o processo de fabricação possa ter sido vibrada por mais tempo que as outras 3 amostras, tornando-a uma peça mais compactada e assim, menos permeável. Mesmo diante desse fato o seu resultado do coeficiente de permeabilidade quando comparado a dos solos (tabela 35) se mostra superior ao coeficiente da areia, sendo considerado de média permeabilidade. Já nas amostras 2, 3 e 4, o coeficiente se mostrou maior de que pedregulho, conforme a tabela 35, o que demonstra que em média o piso ecológico possui alta permeabilidade.

**Tabela 35: Valores típicos de coeficientes de permeabilidade**

Tipo de solo	Coef. de permeabilidade (K) (cm/s)	Grau de permeabilidade
<b>Pedregulho</b>	$>10^{-1}$	<b>Alta</b>
Areia	$10^{-1}$ a $10^{-3}$	Média
Areia fina, silte pouco argiloso	$10^{-3}$ a $10^{-5}$	Baixa
Argiloso, argila arenosa	$10^{-5}$ a $10^{-7}$	Muito baixa
Argila	$<10^{-7}$	Praticamente impermeável

Fonte: BELINCANTA, 2001

Pela equação 4.3.1, torna-se conhecida a vazão do piso ecológico:

$$Q_t = K_t \cdot A \cdot i \quad (\text{Eq. 4.3.1})$$

Onde:

$Q_t$  = vazão na temperatura do ensaio ( $\text{cm}^3/\text{s}$ );

$A$  = área transversal do corpo-de-prova ( $\text{cm}^2$ );

$i$  = gradiente hidráulico ( $h/e = i$ ), neste caso considerado 1;

Ao aplicar a média dos resultados de  $K_{20}$  (desconsiderando a amostra 1), tem-se a vazão média do piso ecológico de  $248 \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  ou  $24,8 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ . Considerando o volume de chuva intensa para Maringá, Paraná<sup>39</sup>, de  $154 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ , tem-se  $0,0427777 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ , o que

<sup>39</sup> Conforme SOARES (et al 2000), a cidade de Maringá, estado do Paraná, possui intensidade pluviométrica de  $154 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$  para uma chuva de duração de 5 minutos e período de retorno de 5 anos. O software Pluvio 2.1 calcula a intensidade pluviométrica ( $I_m$ ) para Maringá de  $118,138 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ , apresentado na equação abaixo. Assim, foi utilizada a maior intensidade de chuva para o comparativo com o piso ecológico.

demonstra que a permeabilidade do piso ecológico é de, aproximadamente, 6 vezes mais que a intensidade de chuva para a cidade de Maringá.

#### 5.4 ESTIMATIVA DO CUSTO DE PRODUÇÃO DO PISO ECOLÓGICO

O custo de fabricação do piso ecológico se faz necessário para traçar um comparativo com o custo dos pisos similares disponíveis no mercado. Para a elaboração de seu custo foi considerado uma produção rudimentar, ou seja, manual, com custo de materiais em compra de pequena escala, equipamentos alugados, mão-de-obra não especializada, com 30% de lucro e BDI (benefícios e despesas indiretas). Assim, obteve-se um custo estimado em R\$ 5,89 por peça e R\$ 58,87 por m<sup>2</sup>, este é o custo para o fabricante repassar aos lojistas e só depois chegar às mãos do consumidor. A tabela 36 mostra os valores utilizados para alcançar a estimativa do custo do piso ecológico.

Através da composição analítica de valores do piso ecológico estimaram-se os custos de mão-de-obra com os encargos sociais em R\$ 343,58 e dos materiais em R\$ 411,19. Pensando que o revendedor (comerciante) do produto teria um lucro de 50% para sua comercialização, o custo do piso ecológico para o cliente estaria entorno de R\$ 88,30 por m<sup>2</sup>. Ao compararmos o valor comercial do piso ecológico com os demais pisos similares (ver tabela 37), nota-se que por considerar uma produção rudimentar o seu valor não parece ser muito discrepante dos demais pisos, exceto para a comparação com o piso intertravado que o valor do piso ecológico é quatro vezes mais caro, porém o piso intertravado possui permeabilidade inferior que o piso ecológico.

---

$$I_m = \frac{K.T^a}{(t+b)^c} = \frac{1367,747.5^{0,174}}{(10+15,763)^{0,84}} = 118,138 \text{ mm/h}$$

**Tabela 36: Composição analítica de preço unitário do piso ecológico**

<b>Piso em concreto (m3)</b>	<b>Unidade.</b>	<b>Coefficiente</b>	<b>Custo Unitário</b>	<b>Custo total</b>
Areia lavada	m <sup>3</sup>	0,404555	48,00	19,42
Cimento CP V ARI (saco 40 kg)	unidade	7,9440	20,00	158,88
Britaleve®	m <sup>3</sup>	0,164990	220,00	36,30
Pedrisco	m <sup>3</sup>	0,9350	42,00	39,27
Equipamento (aluguel + consumo)	hora	23,00	6,84	157,32
<b>Total de produção</b>				<b>411,19</b>
Pedreiro	hora	23,00	3,70	85,10
Servente	hora	23,00	2,89	66,47
<b>Sub-Total de mão-de-obra</b>				<b>151,57</b>
Encargos Sociais %		126,680		192,01
<b>Total mão-de-obra com encargos sociais</b>				<b>343,58</b>
Custo Direto Total				754,77
Taxa de BDI %		30,00		226,43
<b>Total da Composição</b>				
			<b>Custo por m<sup>3</sup> (R\$)</b>	<b>981,20</b>
			<b>Unidades produzidas por m3</b>	<b>166,67</b>
			<b>Custo por peça (R\$)</b>	<b>5,89</b>
			<b>Custo por m<sup>2</sup> (R\$)</b>	<b>58,87</b>
			<b>Custo por m<sup>2</sup> com lucro de 50% para o revendedor (R\$)</b>	<b>88,30</b>

Fonte: AUTOR, 2009

**Tabela 37: Custo de pisos para o consumidor**

<b>Produto</b>	<b>Custo (R\$/m<sup>2</sup>)</b>
Ladrilho Hidráulico	55,00
Piso drenante (Braston pisos)	64,00
Piso de borracha (Rubbersidewalks)	120,00
Piso Grama sem armadura (Braston pisos)	65,00
Piso Intertravado com 60mm de altura	17,50 a 22,00
Pedra Natural	80,00 a 90,00
<b>Piso Ecológico</b>	<b>88,30</b>

Fonte: AUTOR, 2009

Muitas vezes o custo mais elevado de um produto pode não fazer a diferença na escolha do consumidor, mas por outro lado, os benefícios de um produto geralmente são a escolha do consumidor, mesmo considerando que este tenha valor mais elevado. A diferença na opção do consumidor está ligada a sua necessidade de aplicação do material e a cultura de cada indivíduo.

O custo de fabricação do piso ecológico mostra que este é um produto viável economicamente no mercado, pois possui características individuais como: produto ecológico, reciclagem de material, drenagem, auxílio no conforto térmico e acústico, etc.; o que destaca o seu diferencial dos demais produtos similares. Ao pensar que o piso ecológico pode ter uma fabricação em indústria e com larga escala o custo de R\$ 88,30 seria reduzido.

### 5.5 PROPOSTA DE ÍNDICE PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO PISO ECOLÓGICO (IAD)

Para avaliar o desempenho do piso ecológico apresenta-se uma proposta, de desenvolvimento inicial, de um Índice para Avaliação do Desempenho do Piso Ecológico, adaptado do Índice de Qualidade da Água (IQA) da Nacional Sanitation Foundation. Este índice é utilizado, nesta pesquisa, com a intenção de estabelecer uma nota (de 0 a 100) para o piso ecológico, em comparação com as normas e os produtos similares. Assim, o índice para avaliação do desempenho da peça é dado através da equação 5.5.1:

$$IAD = \prod_{i=1}^N q_i^{W_i} = q_1^{W_1} \cdot q_2^{W_2} \cdot q_3^{W_3} \cdot q_4^{W_4}, \text{ com } \sum_{i=1}^N W_i = 1 \quad (\text{Eq. 5.5.1})$$

Onde:

IAD = índice de avaliação de desempenho;

q = índice de desempenho individual das características do piso, sendo:

- $q_1$  = resistência à compressão, comparação (NR) com a norma Africana 15 MPa;
- $q_2$  = resistência à flexão, comparação (NR) com o piso drenante da Braston 4,1 MPa;
- $q_3$  = coeficiente de permeabilidade comparado com o coeficiente de permeabilidade de solos, pedregulho  $>10^{-1}$  (NR, tabela 29);

- $q_4$  = custo, comparação (NR) com o piso drenante da Braston R\$ 64,00;

A tabela 38 traz os índices de desempenhos individuais para o piso ecológico, conforme as características propostas para o produto. Na tabela 39, encontram-se as categorias de ponderação estipuladas para gerar um comparativo de classificação da nota do piso ecológico.

**Tabela 38: Valores para cálculo e índices de desempenho do piso ecológico**

Características	Índice <sup>40</sup> (w) $\Sigma w = 1$	Nota Referência (NR)	Nota do Piso Ecológico (NP)	Índice de Desempenho Individual (q)
Resistência à compressão	0,5	15 MPa	15,17 MPa	$q_1 = \frac{NP}{NR} \cdot 100 = \frac{15}{15} \cdot 100 = 100$
Resistência à flexão	0,1	4,1 MPa	3,89 MPa	$q_2 = \frac{NP}{NR} \cdot 100 = \frac{3,89}{4,1} \cdot 100 = 94,8$
Permeabilidade	0,2	$>10^{-1}$	$2,48 \times 10^{-1}$	$q_3 = \frac{NP}{NR} \cdot 100 = \frac{2,48 \times 10^{-1}}{1 \times 10^{-1}} \cdot 100 > 100$
Custo	0,2	R\$ 64,00	R\$ 88,30	$q_4 = \frac{NR}{NP} \cdot 100 = \frac{64,00}{88,30} \cdot 100 = 72,5$
<b>Índice medidor de Desempenho da peça (IAD)</b>				<b>93,173</b>

Fonte: AUTOR, 2009

$$MD = 100^{0,5} \cdot 94,8^{0,1} \cdot 100^{0,2} \cdot 72,5^{0,2} = 93,173 \quad (\text{Eq. 5.5.1})$$

Os resultados dos índices de desempenho individuais, calculados na tabela 38, foram aplicados na equação 5.5.1, que resultou no Índice de Avaliação de Desempenho do piso ecológico (IAD) de aproximadamente 93,17. Quando o IAD do piso ecológico é comparado com os valores de ponderação de IAD (tabela 39), tem-se o resultado de que o piso ecológico possui um desempenho excelente diante da comparação de suas características com normas e outros produtos similares encontrados no mercado.

<sup>40</sup> O índice w foi estabelecido, para esta pesquisa, conforme a importância de cada característica deve possuir para o piso ecológico ser comercializado.

**Tabela 39: Ponderação para os valores de IAD<sup>41</sup>**

Categoria	Ponderação
Excelente	$90 \leq \text{IAD} \leq 100$
Ótimo	$80 \leq \text{IAD} < 90$
Bom	$70 \leq \text{IAD} < 80$
Regular	$60 \leq \text{IAD} < 70$
Ruim	$50 < \text{IAD} < 60$
Péssimo	$\text{IAD} \leq 50$

**Fonte: AUTOR, 2009**

Deve-se observar que a proposta acima para ser validada necessitará de estudos complementares posteriores.

---

<sup>41</sup> Os valores de ponderação da tabela 39 foram elaborados com base na escala de avaliação escolar, devido ao intervalo do IQA (índice de qualidade da água) ser muito amplo.

## 6 CONCLUSÃO

---

Os seus resultados obtidos apresentaram a possibilidade de incorporar o **material reciclado** somado ao convencional, visando o reaproveitamento de resíduos. A **porcentagem** do copolímero de etileno-acetato de vinila (E.V.A.) incorporado foi de 10% em relação a todo material convencional (cimento, areia e pedrisco de basalto) utilizado na produção do piso ecológico. Com relação ao meio ambiente o percentual de 10% de material reciclado contribuirá de modo positivo na redução desse resíduo, principalmente se a produção deste produto for realizada em larga escala.

Os ensaios de **resistência à compressão** do piso ecológico, com a incorporação do E.V.A., apresentaram o valor de 15,17 MPa para sua resistência característica à compressão, aos 28 dias de idade da peça. Este resultado atende a utilização deste produto para a travessia de pedestres conforme demonstram as normas da Austrália e África do Sul, que indicam a resistência 15 MPa para solicitação por baixas cargas como as exigidas em calçadas e locais de trânsito leve.

O teste de **resistência à flexão** da peça do piso ecológico apontou o resultado de 3,89 MPa. Como não há uma norma específica para estabelecer esse parâmetro, o resultado foi comparado com o piso drenante, do fabricante Braston Pisos Arquitetônicos, que possui a resistência à flexão de 4,1 MPa, e com as placas de concreto pré-fabricadas que possuem resistência à flexão de 3,5 MPa<sup>42</sup>. Assim, pode-se afirmar que o piso ecológico possui resistência à flexão para suportar as sobrecargas exigidas em calçadas como as placas pré-fabricadas de concreto.

Pelo ensaio de **permeabilidade** o piso ecológico possui alto coeficiente de permeabilidade, se comparado com tipologias de solo. Sua permeabilidade é superior a de pedregulhos e pelo cálculo da vazão apresentada pelo piso proposto. Com uma permeabilidade, do piso ecológico, maior que 6 (seis) vezes a intensidade da chuva para Maringá, verifica-se que o mesmo é eficiente com relação a absorção das águas das chuvas para a cidade e sua região.

Nos cálculos da estimativa de **custo** foi considerada uma fabricação artesanal, que estimou o custo do piso ecológico em R\$ 88,30 por m<sup>2</sup>. Este valor quando comparado ao custo dos

---

<sup>42</sup> Conforme a cartilha Sistema Integrado de Calçadas (ABCP, 2008).

pisos similares, não cria um disparate muito acentuado. Conclui-se que, se este produto fosse fabricado industrialmente e em larga escala o seu valor comercial certamente seria reduzido, e se fabricado no próprio canteiro de obras ou em uma pequena fábrica, seu valor comercial seria acessível se comparado aos encontrados no mercado, principalmente pela sua relação custo x benefício; fato este que é levado em consideração por muitos compradores de diversos produtos.

Quando os resultados das características de resistência à compressão e flexão, permeabilidade e custo foram comparados com os índices exigidos por norma ou comparados com pisos similares. O **índice de avaliação do desempenho do piso ecológico** o considera um excelente produto, diante das características estudadas.

Ao analisar a peça do piso ecológico produzida vê-se que esta atende a **acessibilidade** exigida pela NBR 9050/2004, pelo fato que não possui aberturas que possam proporcionar o enroscar de uma bengala. E as suas arestas e quinas ficaram bem definidas possibilitando a instalação com junta seca sem vãos que possam ser obstáculos para qualquer transeunte.

O **formato retangular** de 40 x 25 x 6 cm (CxLxA) foi definido conforme o exigido pela NBR 9781/1987, que definem as dimensões de comprimento máximo de 40 cm, largura mínima de 10 cm e altura mínima de 06 cm, para peças de pavimentação em concreto, e principalmente pensado para buscar uma modulação com as dimensões do passeio público.

Conforme o resultado apresentado se pode afirmar que o piso ecológico tem sua **aplicabilidade** em espaços como passeios públicos, praças, recurso de paisagismo para caminhos e acessos, dentre outros sempre pensados para o trânsito de pedestres.

Quanto aos **aspectos sociais** acredita-se que o piso ecológico possibilita uma melhoria da qualidade do meio ambiente, pois incorpora materiais reciclados e auxilia na drenagem urbana. Sua porosidade possui absorção acústica, assim como características térmicas, decorrente da diminuição da umidade e redução do calor no meio urbano, sendo contribuições ligadas à autodrenagem do piso ecológico.

Na atualidade, as questões ambientais têm obrigatoriedade de participação, tanto dos organismos governamentais quanto da sociedade civil. A interferência humana na natureza e a degradação constante da qualidade de vida urbana são temas de importância ímpar, devendo ser estudados e balizados pelo desenvolvimento sustentável.

O desenvolvimento de produtos, como o piso ecológico, gera opções de criar materiais com novas aplicações, novos empreendimentos industriais de pequeno porte, oferece a criação de empregos, estimativas de lucro, reciclagem de materiais, etc.

Apesar de existirem estudos sobre calçadas ecológicas e inteligentes, torna-se plenamente desejável e plausível o desenvolvimento de materiais que componham a paisagem urbana em função e estética, contribuindo positivamente para auxiliar o gerenciamento urbano.

## 6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Nesta pesquisa, não foi possível vencer todas as possibilidades de estudos sobre o piso ecológico, o que demonstra que ainda existe muito trabalho a ser desenvolvido para avaliar e conhecer o produto e o assunto aqui proposto. Assim, a seguir são feitas algumas sugestões para trabalhos futuros:

- Realizar teste de temperatura do piso ecológico, para conhecer sua contribuição quanto à absorção de temperatura e comparação desta propriedade com algumas tipologias de revestimento do solo, uma vez que este resultado pode demonstrar a importância da pavimentação urbana em relação ao conforto térmico das cidades. Um método de teste encontra-se sugerido no anexo A;
- Realizar o teste de absorção acústica para avaliar o comportamento do piso ecológico com relação a esta propriedade, para que este possa ser aplicado com o propósito de minimizar o ruído urbano. Um método para o teste encontra-se sugerido no anexo B;
- Realizar teste para avaliar a durabilidade do piso ecológico;
- Executar uma calçada no perímetro urbano com a aplicação do piso ecológico, para avaliar e o monitorar o seu desempenho e comportamento no decorrer de um período entre 6 a 12 meses;
- Estudar a fabricação do piso ecológico em outras colorações;
- Estudar a produção do piso de forma industrial e em larga escala;
- Estudar métodos de assentamento das placas visando garantir a permeabilidade da superfície e avaliar o custo de execução;
  - Base se assentamento permeável;

- Peso das placas x velocidade de execução;
- Ampliar estudos para desenvolver o Índice de Avaliação do Desempenho do Piso Ecológico (IAD).

Por fim, espera-se que este trabalho induza a inicialização, continuação e aprofundamento que levem a pavimentação ecológica, especialmente a pavimentação voltada para áreas urbanas uma vez que há uma escala mais elevada de importância, maior do que a que nos dias de hoje se atribui a esta, com o uso de novos materiais, novas características, incorporação de materiais reciclados para a elaboração de produtos que contribuam com o meio ambiente.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

**ABUDD, Benedito.** Disponível em <[www.beneditoabbud.com.br](http://www.beneditoabbud.com.br)>, acessado em 21 de abril de 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP (2001). In: **PALESTRA PAVIMENTO INTERTRAVADO – MKT.** 2001. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP, 2001, CD-ROM, 115 slides.

ARCHER, L. B. **Método sistemático per progettistti.** Editora Marsilio, 1967.

ASHRAE. **Handbook of Fundamentals.** American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers. USA: New York, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP. **Sistemas Integrados de Calçadas:** Caminhar em São Paulo está cada vez melhor. Disponível em <[http://www.abcp.org.br/downloads/arquivos\\_pdf/cartilha\\_calçadas\\_abr07.pdf](http://www.abcp.org.br/downloads/arquivos_pdf/cartilha_calçadas_abr07.pdf)>, acesso em 17 de julho de 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT (1991). **NBR 5733: Cimento Portland de alta resistência inicial.** Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT (1984). **NBR 7181: Solo: Análise Granulométrica – método de ensaio.** Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT (1987). **NBR 9781: Peças de concreto para pavimentação.** Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT (1987). **NBR 9780: Peças de concreto para pavimentação – Determinação da resistência à compressão.** Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT (1989). **NBR 10786: Concreto endurecido – Determinação do coeficiente de permeabilidade à água.** Rio de Janeiro, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT (1997). **NBR 13818: Placas cerâmicas para revestimento – Especificação e métodos de ensaios. Determinação da resistência à abrasão profunda.** Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT (2007). **NBR 13858: Telhas de Concreto – Parte 2: Requisitos e métodos de ensaio.** Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (2000). **NBR 10152 (CB-CENI-1987-00095): Níveis de ruído para conforto acústico.** São Paulo, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (2004). **NBR 9050, Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos.** Rio de Janeiro, 2004, 97p.

BASTOS, Gabi. **Calçadas Revitalizadas**. Revista Natureza, Editora Europa, Ano 19, nº 6, edição 222, Julho, 2006, p. 90-92.

BARBIERI, José Carlos. **Desenvolvimento e meio ambiente**: As estratégias de mudanças da Agenda 21. Petrópolis, RS: Vozes, 1997.

BARROSO-KRAUSE, C.; SANTOS, M. J.; NIEMEYER, M. L.; PORTO, M. M. **Bioclimatismo no projeto de arquitetura**: dicas de projeto. FAU/UFRJ, Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <<http://www.fau.ufrj.br/apostilas/conforto/conforto00.html>>. Acesso em: 06 fev. 2009.

BAXTER, Mike. **Projeto de Produto**: Guia prático para o design de novos produtos. 2ª edição revista. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 2003.

BELINCANTA, Antonio. **Fundamentos Básicos dos ensaios de permeabilidade dos solos**. Número 97, Maringá: Universidade Estadual de Maringá, 2001.

**BRASTON PISOS ARQUITETÔNICOS**. Disponível em <<http://www.braston.com.br>>, acesso em 16 de julho de 2008.

BENÉVOLO, Leonardo. **História da Cidade**. São Paulo: Perspectiva, 2003, 728p.

BISTAFA, Sylvio R. **Acústica aplicada ao controle do ruído**. São Paulo: Edgard Blücher, 2006. 368 p.

BRAGA, B.D.F. **Gerenciamento urbano integrado em ambiente tropical**. In: Seminário de Hidráulica Computacional Aplicada a Problemas de Drenagem Urbana. São Paulo: ABRH, 1994.

BRANCO, Samuel Murgel. **Ecossistêmica**: Uma abordagem integrada dos problemas do meio ambiente. São Paulo, SP: Fundação Konrad-Adenauer-Stiftung, 1989.

BRASIL. Decreto-lei nº 5.296, de 02 de dezembro de 2004, Brasília, 2004.

**BRITALEVE**. Disponível em <[www.britaleve.com.br](http://www.britaleve.com.br)>, acessado em 20 de julho de 2008.

CAMARGO, Ana Luiza de Brasil. **Desenvolvimento Sustentável**: Dimensões e desafios. 2. ed. Campinas, SP: Papirus, 2003.

CAMBIAGHI, Silvana Serafino. **Desenho Universal**: Métodos e técnicas para arquitetos e urbanistas. São Paulo: Senac, 2007, 160p.

CANHOLI, Alúcio Pardo. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

CARTILHA SANTOS PARA TODOS. **Guia prático para eliminação e transposição de barreiras arquitetônicas**. Comissão de Acessibilidade, Condefi, Santos – SP, 2004, 79p.

**CENTRO DE VIDA INDEPENDENTE DE MARINGÁ – CVI**. Revista nº 2. 2005. Disponível em [www.cvi-maringa.org.br](http://www.cvi-maringa.org.br), acessado em 21 de maio de 2006.

CHING, Francis D. K. **Arquitetura, forma, espaço e ordem**. São Paulo: Martins Fontes, 1998, p.277-318.

COMISSÃO PERMANENTE DE ACESSIBILIDADE (CPA) DA SECRETARIA DA HABITAÇÃO E DESENVOLVIMENTO URBANO (SEHAB). **Guia Prático de Acessibilidade em Edificações**. Prefeitura do Município de São Paulo: São Paulo, 2002.

COMUNIDADE DA CONSTRUÇÃO. **Como são executados os contrapisos e pisos para assentamento de ladrilhos, tacos e assoalhos**. Disponível em <<http://www.comunidadeconstrucao.com.br/comunidade/calandra.nsf/0/73651F23E22D7AC603256C150064A056?OpenDocument&pub=T&proj=Novo&secao=TiraDuvidas>>, acesso em 07 de agosto de 2008.

**CONCRETOS:** massa, estrutural, projetado e compactado com rolo: ensaios e propriedades. Equipe Furnas, Laboratórios de Concreto, Departamento de Apoio e Controle Técnico. São Paulo: Pini, 1997.

CORDE. **Dia internacional das pessoas com deficiência**. Disponível em [http://www.mj.gov.br/sedh/ct/corde/dpdh/sicorde/dia\\_inter\\_pessoa\\_def.asp](http://www.mj.gov.br/sedh/ct/corde/dpdh/sicorde/dia_inter_pessoa_def.asp), acessado em 02 de maio de 2007.

CORNELL, J. A. (1990). **How to apply response surface methodology**. 2ª Ed. Milwaukee, WI: American Society for Quality Control, vol. 8, 1990, 82p.

CRUZ, Luis Otávio Maria. **Pavimento intertravado de concreto**: Estudo dos elementos e métodos de dimensionamento. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2003.

CUIDANDO DO PLANETA TERRA. **“Uma estratégia para o futuro da vida”**. São Paulo, SP: UICN/Pnuma/WWF, 1991.

DACACH, Nelson Gandur. **Saneamento ambiental**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1983.

DAUMAL, Francesc; BOTTON, J. M. de; JERICÓ, J.; SERRA, R. **Los médios naturales de control ambiental**. Barcelona notas de clases del Curso de Acondicionamento y servicios I, ETSAB – UPC, 1989.

DETWYLER. T. R. e MARCU, M. G. **Urbanization and environment**. California: Duxbury Press, 1974.

DOCZI, György. **O poder dos limites**: harmonias e proporções na natureza, arte e arquitetura. São Paulo: Mercuryo, 1990, 150p.

EDWARDS, Brian. **Guía Básica de la Sostenibilidad**. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 2004.

FIORITI, César Fabiano. **Pavimentos intertravados de concreto utilizando resíduos de pneus como material alternativo**. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

FOLHA DE SÃO PAULO. **China**: Enchentes já mataram 57 em nove Províncias desde o dia 6. 17 de junho de 2008. Disponível em <<http://www1.folha.uol.com.br/fsp/mundo/ft1706200817.htm>>, acesso em 16 de julho de 2008.

FOLHA DE SÃO PAULO. **Efeito do ciclone**: Chuva causa alagamentos em 49 cidades em SC e RS – 05 de maio de 2008. Disponível em <<http://www1.folha.uol.com.br/fsp/cotidiano/ff0505200822.htm>>, acesso em 16 de julho de 2008.

FOLHA ONLINE. **Chuva deixa desabrigados, causa enchentes em São Paulo e corta energia no Rio de Janeiro**. 11 de janeiro de 2005. Disponível em <<http://www1.folha.uol.com.br/folha/cotidiano/ult95u104028.shtml>>, acesso em 16 de julho de 2008.

FRANCO, Maria de Assunção Ribeiro. **Planejamento Ambiental para a Cidade Sustentável**. São Paulo, SP: Annablume, 2000.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de conforto térmico**. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001. 243 p.

GAUZIN-MÜLLER, Dominique. **Arquitetura Ecológica**: 29 exemplos europeus. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 2002.

GJORV, O. **Important test methods for evaluation of reinforced concrete durability**. In: V. M. MALHOTRA SYPOSIUM ON CONCRETE TECHNOLOGY: PAST, PRESENT AND FUTURE, 1993 Berkeley, Califórnia. Detroit: American Concrete Institute, 1994. p. 545-576. (ACI Special Publication, 144).

GOMES FILHO, João. **Design do Objeto**: bases conceituais. São Paulo: Escrituras Editora, 2006.

GOMES FILHO, João. **Gestalt do Objeto**: sistema de leitura visual da forma. São Paulo: Escrituras Editora, 2000.

GOPALAN, M. K. **Sorpivity of fly Ash Concretes**. Cement and Concrete Research. v.26, n 8, p. 1189-1197, 1996. GJORV, O. Important test methods for evaluation of reinforced concrete durability. In: V. M. MALHOTRA SYPOSIUM ON CONCRETE TECHNOLOGY: PAST, PRESENT AND FUTURE, 1993 Berkeley, Califórnia. Detroit: American Concrete Institute, 1994. p. 545-576. (ACI Special Publication, 144).

**GUIA DE ACESSIBILIDADE EM EDIFICAÇÕES**, Secretaria da Habitação do Município de São Paulo, São Paulo, 2002, 71p.

HALL, C. **Water absorption of mortars and concretes**: a review. Magazine of Concrete Research, v. 41, n. 147, p. 51-61, 1989.

HERTZ, John B. **Ecotécnicas em Arquitetura**. Como projetar, nos Trópicos Úmidos do Brasil. São Paulo: Pioneira, 1998.

Interlocking Concrete Pavement Institute, Tech Spec. Nº 1, 2002, “**Glossary of terms Used in the Production, Design, Construction and Testing of Interlocking Concrete Pavement**”, Washington, USA.

IIDA, Itiro. **Ergonomia**: projeto e produção. 2ª edição rev. e ampl. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

INTERNATIONAL STANDARD. **ISO 354**. Acoustics – Measurement of sound absorption in a reverberation room, 2003.

JACOBS, Jane. **Morte e vida de grandes cidades**. São Paulo: Martins Fontes, 2003. 510 p.

KAMINSKI, Paulo Carlos. **Desenvolvimento de produtos com planejamento, criatividade e qualidade**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2000.

KELHAM, S. A. **Water absorption test for concrete**. Magazine of Concrete Research, v. 40, n. 10, p. 106-110. Jun 1988.

KUTTRUFF, H. **Acoustics**: An introduction. New York: Taylor & Francis, 2007.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. São Paulo: PW, 1997.

LANDSTROM, U. et al. **Exposure levels, tonal components, and noise annoyance in working environments**. Environ. Int., v. 21, n. 3, p.265-275, 1995.

LE CORBUSIER. **Precisões**: um estado presente da arquitetura e do urbanismo; tradução Carlos Eugênio Marcondes de Moura. São Paulo: Cosac & Naify, 2004, 47-158 p.

LEONARD, R.E.; PARR, S. B. **Trees as a sound barrier**. Journal of Forestry, Volume 68, Número 5, 1970, pp. 282-283. Society of American Foresters. Disponível em: <<http://www.safnet.org/pubs/periodicals.html#JOF>>. Acesso em: 06 fev. 2009.

LISOT, Aline. **Ressoadores de helmholtz em barreiras acústicas**: avaliação do desempenho na atenuação do ruído de tráfego. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná, 2007.

LISOT, Aline; VALQUES, Igor J. B.; SOARES, Paulo Fernando. **O desempenho de massas arbóreas na atenuação do ruído urbano**. Maringá, Paraná, X CBAU, novembro, 2006.

LÖBACH, Bernd. **Design Industrial**: bases para a configuração dos produtos industriais. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 2001, 206 p.

MACAULAY, David. **Construção de uma cidade Romana**. São Paulo: Martins Fontes, 1989, 111p.

MACAULAY, David. **Subterrâneos da Cidade**. São Paulo, SP: Martins Fontes, 1988, 113p.

MAIMON, Dália. **Passaporte Verde: Gestão ambiental e competitividade**. Rio de Janeiro, RJ: Qualitymark, 1996.

MASCARÓ, Juan L; YOSHINAGA, Mario. **Infra-estrutura Urbana**. Porto Alegre: L. Mascaró, J. Mascaró, 2005, 207p.

MASCARÓ, Juan Luis. **Loteamentos Urbanos**. Porto Alegre, RS: L Mascaró, 2003.

MASCARÓ, Lucia. **Ambiência Urbana**. 2ª edição. Porto Alegre: +4, 2004, 199 p, Edição Bilíngüe: Português/Inglês.

MELAMED, Samuel e BRUHIS, Shelly. **The effects of chronic industrial exposure on urinary cortisol, fatigue and irritability: a controlled field experiment**. Journal of Occupational and Environmental Medicine, v.38, n.3, p.252-256, mar. 1996.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo, PINI, 1994, 573 p.

MILLER JR., G. T. **Living in the environment: an introduction to environmental science**. 6th ed. Belmont: Wadsworth, 1990.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Caderno 2: Construindo uma cidade acessível**. S.l.: Brasil Acessível e Governo Federal, 2005.

MINISTÉRIO DA FAZENDA; MINISTÉRIO DA JUSTIÇA. **Problemas concorrenciais da reforma da Norma NBR 12655**. Brasília, 31 de jan. de 2006. Disponível em: <[http://www.seae.fazenda.gov.br/central\\_documentos/manifestacoes.../p\\_cim\\_abnt\\_20063\\_101\\_manifestacoessobrenbr12655.pdf](http://www.seae.fazenda.gov.br/central_documentos/manifestacoes.../p_cim_abnt_20063_101_manifestacoessobrenbr12655.pdf)>. Acessado em 25 de nov. de 2008.

MONTEIRO, C. A. Figueiredo. **Teoria e clima urbano**. São Paulo: IGEOG-USP, série teses e monografias, n° 25, 1976.

MONTEIRO, Leonardo Marques; ALUCCI, Marcia Peinado. **Questões teóricas de conforto térmico em espaços abertos: consideração histórica, discussão estado da arte e proposição classificação de modelos**. Porto Alegre, Ambiente Construído, v. 7, n. 3, p. 43-58, jul./set. 2007.

MORENO, García, Maria del C. **Estúdio del clima urbano de Barcelona: la «isla de calor»**. Barcelona: Impresión Solgraf, 1993.

MOSCI, Adriano Starling; DINIZ, João Luiz Cioglia Pereira. **Estudo da Exposição ao Ruído: Impacto no Policial Militar do Batalhão de Trânsito**. Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais. Academia de Policia Militar de Minas Gerais, 1997. Disponível em <<http://www.icb.ufmg.br/lpf/2-21.html>>. Acessado em 20 de fevereiro de 2003.

MOURA, Luz Antônio Abdalla de. **Qualidade e gestão ambiental: sugestões para implantação das normas ISSO 14000 nas empresas**. São Paulo: Juarez de Oliveira, 2000.

MOURA, Washington Almeida. **Utilização de escória de cobre como adição e como agregado miúdo para concreto**. Tese (Doutorado Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2000. Disponível em <

[http://www.reciclagem.pcc.usp.br/ftp/washington\\_ufrgs.pdf](http://www.reciclagem.pcc.usp.br/ftp/washington_ufrgs.pdf)>, acesso em 23 de julho de 2008.

MUNARI, Bruno. **Das coisas nascem coisas**. Tradução José Manuel de Vasconcelos, São Paulo: Martins Fontes, 1998.

NAKUMURA, Juliana. **A técnica do concreto estampado**. Equipe de Obra, Pini Web, edição 15, fev. 2008. Disponível em: <[http://www.equipededeobra.com.br/construcao-reforma/15/artigo73689-1.asp&usg=\\_\\_1xToH3vbpD2JH5hv2JqSla5141A=&h=336&w=450&sz=117&hl=pt-BR&start=5&sig2=QEKpqC-rKvcbgSjopIZILw&um=1&tbnid=ZwGDAZeTRXc35M:&tbnh=95&tbnw=127&ei=\\_0ooSf-kK5mU9gSjo9z3Ag&prev=/images%3Fq%3Dcal%25C3%25A7adas%2Bde%2Bconcreto%2Bstampado%26um%3D1%26hl%3Dpt-BR](http://www.equipededeobra.com.br/construcao-reforma/15/artigo73689-1.asp&usg=__1xToH3vbpD2JH5hv2JqSla5141A=&h=336&w=450&sz=117&hl=pt-BR&start=5&sig2=QEKpqC-rKvcbgSjopIZILw&um=1&tbnid=ZwGDAZeTRXc35M:&tbnh=95&tbnw=127&ei=_0ooSf-kK5mU9gSjo9z3Ag&prev=/images%3Fq%3Dcal%25C3%25A7adas%2Bde%2Bconcreto%2Bstampado%26um%3D1%26hl%3Dpt-BR)>. Acesso em 22 nov. 2008.

**NOSSO FUTURO COMUM**. Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. 2 ed. Rio de Janeiro, RJ: FGV. 1991.

**NÚCLEO PRÓ-ACESSO Acessibilidade para todos**: uma cartilha de orientação. UFRJ/FAU/PROARQ, Rio de Janeiro, 2004, 87p.

NUNES, Layane Alves. **Mapeamento e Análise do Ruído na Região Central de Maringá**. Relatório do Programa Institucional de Iniciação Científica – PIBIC/CNPq-UEM, Maringá, Universidade Estadual de Maringá, agosto, 2004.

OLGYAY, V. **Arquitetura y clima**: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas. 2a. Ed. - Barcelona: Gustavo Gili, 2002.

OLIVEIRA, Carlos Augusto de. **Inovação de Tecnologia, do produto e do processo**. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 2003, 311p.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Declaração dos Direitos das Pessoas Deficientes**. 9 de dezembro de 1975.

PELLEGRINO, Paulo R. M. **Paisagens Temáticas**. Ambiente Virtual. São Paulo, 1995. Tese (doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo.

PIMENTEL-SOUZA, Fernando. **Efeitos da poluição sonora no sono e na saúde em geral**: ênfase urbana. Revista de Acústica e Vibrações, v.10, p.12-22, fev. 1992.

PIMENTEL-SOUZA, Fernando. **Os riscos ao sono**: uma avaliação dos efeitos da poluição sonora urbana no trabalho e na saúde. Revista Proteção, v.5, n.23, p.32-38, jul/jul. 1993.

PLUVIO 2.1. **Chuvas intensas para o Brasil**. Disponível em <<http://www.ufv.br/dea/gprh/software.htm>>, acesso em 06 de fevereiro de 2009.

PORTAL DE NOTÍCIAS DA GLOBO. **Brasil é o 8º em ranking dos países que mais lutam contra mudança climática**. 07 de dezembro de 2007. Disponível em <<http://g1.globo.com/Noticias/Ciencia/0,,MUL208992-5603,00.html>>, acesso em 16 de julho de 2008.

PREFEITURA DE RECIFE. **ME 37: Método de ensaio** – Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto. Secretaria de Serviços Públicos. Disponível em [http://www.recife.pe.gov.br/pr/servicospublicos/emlurb/cadernoencargos/pavimentacao\\_MoldagemCuradeCorpos-de-provaCilindricos.pdf](http://www.recife.pe.gov.br/pr/servicospublicos/emlurb/cadernoencargos/pavimentacao_MoldagemCuradeCorpos-de-provaCilindricos.pdf), acesso em 31 de janeiro de 2009.

PROGRAMA BRASILEIRO DE ACESSIBILIDADE URBANA – BRASIL ACESSÍVEL, **Caderno 2: Construindo uma Cidade Acessível**. São Paulo: Ministério das Cidades, 2005, 154p. Disponível em [www.pmt.pa.gov.br/0002/acessiburbmcidades.pdf](http://www.pmt.pa.gov.br/0002/acessiburbmcidades.pdf), acessado em 21 de maio de 2006.

RECESA (2007). In: **CONCEITOS – O QUE SIGNIFICA ABRASÃO PROFUNDA**. 2007. **RECESA Pisos e Azulejos**. Disponível em <http://www.recesa.com.br>. Acesso em 25 de abril de 2007.

REDE DO SABER. **O efeito estufa é um fenômeno natural que faz com que a temperatura na Terra se conserve em condições adequadas à vida**. 16 de março de 2008. Disponível em [http://www.rededosaber.sp.gov.br/contents/SIGSCURSO/sigsc/upload/br/site\\_25/File/ATUA08\\_038E039\\_red.pdf](http://www.rededosaber.sp.gov.br/contents/SIGSCURSO/sigsc/upload/br/site_25/File/ATUA08_038E039_red.pdf), acesso em 16 de julho de 2008.

ROMERO, Marta Adriana Bustos. **A arquitetura bioclimática do espaço público**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2001, 226p.

ROMERO, Marta Adriana Bustos. **Princípios Bioclimáticos para o desenho urbano**. 2 ed. São Paulo: Proeditores, 2000.

**RUBBERSIDEWALKS**. Disponível em <http://www.rubbersidewalks.com/>, acesso em 16 de julho de 2008.

SACHS, Ignacy. **Ecodesenvolvimento: crescer se, destruir**. São Paulo: Revista dos Tribunais, 1986.

SANTOS, Jorge Luis Pizzutti dos. **Estudo do potencial tecnológico de materiais alternativos em absorção sonora**. Santa Maria: Editora da UFSM, 2005, 80p.

SANTOS, Ubiratan de Paula (ORG.). **Ruído: riscos e prevenção**. São Paulo: Hucitec, 1994.

SCHIMID, Aloísio Leoni. **A idéia de conforto: reflexões sobre o ambiente construído**. Curitiba: Pacto Ambiental, 2005.

SECRETARIA ESPECIAL DA PESSOA COM DEFICIÊNCIA E MOBILIDADE REDUZIDA. Comissão Permanente de Acessibilidade. Prefeitura de São Paulo. **Mobilidade acessível na cidade de São Paulo: edificações, vias públicas, leis e normas**. São Paulo: SEPED, 2005.

SECRETARIA DA HABITAÇÃO E DESENVOLVIMENTO URBANO. Comissão Permanente de Acessibilidade. Prefeitura de São Paulo. **Conheça as regras para arrumar a sua calçada**. São Paulo: CREA-SP, n.d.

SECRETARIA DE DESENVOLVIMENTO URBANO, PLANEJAMENTO E HABITAÇÃO GERÊNCIA DE FISCALIZAÇÃO. **Informativo LEI 335/99**. Prefeitura do Município de Maringá.

SERRA, Rafael. **Arquitecturas y climas**. Barcelona: Gustavo Gili, 2002. 94 p.

SNACKEL, Brian. **Design and Construction of Interlocking Concrete Block Pavements**. First Edition and Reprinted 1991, New York and London: Elsevier, 1990.

SOARES, Paulo Fernando; SOARES, Doralice Ap. Favaro. **Chuvas intensas em Maringá: metodologia e aplicação**. ENTECA 2000, I Encontro Tecnológico da Engenharia Civil e Arquitetura, Maringá, p. 342 – 349, novembro 2000.

SUPPA, Christiana; BORBA, Ricardo (foto). **Philippe Starck: Artista das formas**. Revista D, seção de design. Disponível em <[http://www2.correioweb.com.br/cw/EDICAO\\_20030720/sup\\_rvd\\_200703\\_41.htm&h=404&w=184&sz=17&hl=pt-BR&start=15&sig2=aml5-tlXnK7WaWwps7qb-A&um=1&tbnid=AYSSXjEbzTNu8M:&tbnh=124&tbnw=56&ei=dHVVSMS9LI\\_aeZGm6e8P&prev=/images%3Fq%3Despremedor%2Bde%2Bfrutas%2B%252B%2Bphilippe%26um%3D1%26hl%3Dpt-BR%26sa%3DN](http://www2.correioweb.com.br/cw/EDICAO_20030720/sup_rvd_200703_41.htm&h=404&w=184&sz=17&hl=pt-BR&start=15&sig2=aml5-tlXnK7WaWwps7qb-A&um=1&tbnid=AYSSXjEbzTNu8M:&tbnh=124&tbnw=56&ei=dHVVSMS9LI_aeZGm6e8P&prev=/images%3Fq%3Despremedor%2Bde%2Bfrutas%2B%252B%2Bphilippe%26um%3D1%26hl%3Dpt-BR%26sa%3DN)>, acesso em 15 de junho de 2008.

TERENCE CONRAN, frase citada em GREENHALGH P., **Quotations and Sources on Design and the Decorative Arts**. Manchester, UK: Manchester University Press, 1993, p. 235.

TUAN, Yi-fu. **Paisagens do medo**; tradução Livia de Oliveira. São Paulo: Unesp, 2005, p.231 a 280.

TUCCI, Carlos E. M et al (organizadores). **Drenagem Urbana**. Porto Alegre (RS): ABRH/Editora da Universidade/UFRGS, 1995.

TUCCI, Carlos E. M (organizador). **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre (RS): ABRH/Editora da Universidade/UFRGS, 1997.

UBONAS, B.; GLIDDEN, M. **Development of simplified detention sizing relationships**. In: Proceedings of the Conference on Stormwater Detention Facilities. Asce, 1982.

VILLIBOR, Douglas Fadul ... (et al.). **Pavimentos de baixo custo para vias urbanas**. São Paulo: Arte & Ciência, 2007.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Noise**. WHO, Genève, 1980, 103p.

## **ANEXOS A – MÉTODO PARA REALIZAÇÃO DO TESTE DE TEMPERATURA DO PISO ECOLÓGICO**

---

Os subsistemas, adotados por Monteiro (1976): conforto térmico e o físico-químico (qualidade do ar) possibilitam o estudo do ambiente atmosférico da cidade, tendo uma idéia de como a tipologia da pavimentação junto a outros fatores influencia no ambiente urbano.

O teste de temperatura do piso proposto consiste na comparação entre diferentes tipologias de pavimentação e o piso ecológico. Para isto, o produto será implantado em um determinado espaço do perímetro urbano, juntamente com os demais pisos existentes, gerando a comparação de absorção de temperatura entre os pavimentos.

A medição será realizada na cidade de Maringá, situada geograficamente no Noroeste do Estado do Paraná (figura 170). Localizada em um divisor de águas, cortada em sua parte sul, pela linha imaginária do Trópico de Capricórnio, com coordenadas geográficas de 23°25' latitude sul, e 51°57' longitude oeste, com clima subtropical e chuvas bem distribuídas, uma vez que fica a 555 metros acima do nível do mar. A cidade possui hoje aproximadamente 320 mil habitantes e o seu marco é a Catedral Basílica Menor de Nossa Senhora da Glória (PREFEITURA MUNICIPAL DE MARINGÁ, 2007, figura 171).

Esta é uma cidade cujo crescimento obedece a um plano de desenvolvimento urbano, tendo o seu projeto urbanístico elaborado pelo arquiteto e urbanista, contratado pela Companhia Melhoramentos Norte do Paraná, Jorge Macedo Vieira (1894-1978).

A área da cidade recentemente reurbanizada é o bairro denominado de Novo Centro (figura 172), região onde antes estava localizada a linha de trem e a estação ferroviária da cidade. A Estação foi demolida, e a linha do trem rebaixada, criando um túnel para a passagem das cargas, que em sua face superior deu origem à Avenida Horácio Racanello. Esta área possui inúmeras obras, por estar em processo de urbanização, destinadas a comércio e moradia. A arborização urbana às margens da Avenida Horácio Racanello até o momento é inexistente conforme mostra a figura 161, abaixo.



**Figura 170: Localização da cidade de Maringá: Brasil – Paraná.**

**Fonte: NASA/GOOGLE® EARTH® SOFTWARE, 2008<sup>43</sup>.**



**Figura 171: Vista aérea da cidade Maringá, Vista da Catedral (Leandro Simoes).**

**Fonte: NASA/GOOGLE® EARTH® SOFTWARE, 2008<sup>44</sup> e NASA/GOOGLE® EARTH® SOFTWARE, 2008<sup>45</sup>.**



**Figura 172: Delimitação da área mensurada dentro do perímetro urbano de Maringá, bairro Novo Centro.**

**Fonte: NASA/GOOGLE® EARTH® SOFTWARE, 2008<sup>46</sup>.**

---

<sup>43</sup> NASA/GOOGLE®EARTH® Software Imagem base: color, altura 432 pixels e largura 597 pixels, 96 dpi, 24 bits, tamanho 70,3 Kb. Compactada; trabalhada com o software Corel Draw X3® versão 13, formato: JPG. Disponível em: <<http://earth.google.com/>>. Acesso em 01 de maio de 2008.

<sup>44</sup> NASA/GOOGLE®EARTH® Software Imagem base: color, altura 719 pixels e largura 1008 pixels, 72 dpi, 24 bits, tamanho 129 Kb. Compactada; trabalhada com o software Corel Draw X3® versão 13, formato: JPG. Disponível em: <<http://earth.google.com/>>. Acesso em 01 de maio de 2008.

<sup>45</sup> NASA/GOOGLE®EARTH® Software, fotógrafo Leandro Simões Imagem base: color, altura 305 pixels e largura 305 pixels, 92 dpi, 24 bits, tamanho 17,4 Kb. Compactada; trabalhada com o software Corel Draw X3® versão 13, formato: JPG. Disponível em: <<http://earth.google.com/>>. Acesso em 01 de maio de 2008.

A Avenida Horácio Racanello é um dos eixos de ligação leste-oeste, cortando o centro do perímetro urbano em paralelo à Avenida Brasil, eixo de comércio mais movimentado da cidade na zona central. O Novo Centro aparece na urbanização da cidade também como uma forma de desafogar o tráfego nesta área urbana.

Por fim, este local da cidade foi escolhido para o desenvolvimento da medição desta pesquisa, pois é um espaço urbano onde se encontram diferentes tipologias de pavimentação e ausência de arborização urbana, o que aumenta o impacto da radiação solar aos transeuntes (figura 173).



**Figura 173: Pontos mensurados, onde se encontra diferentes tipologias de pavimentação.**

**Fonte: NASA/GOOGLE® EARTH® SOFTWARE, 2008<sup>47</sup>.**

## **Materiais e Métodos**

Nesta pesquisa foram considerados os pressupostos teóricos apontados por Monteiro (1976), que na perspectiva sistêmica, formalizou uma metodologia para a compreensão do Sistema Clima Urbano. Esta abordagem geográfica da cidade envolve tanto os elementos de ordem meteorológica da atmosfera quanto os da paisagem urbana em suas interferências, como: vegetação, espaços construídos, pavimentação, vazios urbanos, entre outros elementos que se fazem pertinentes nos locais de medição, que somados, compõem o clima urbano.

---

<sup>46</sup> NASA/GOOGLE®EARTH® Software Imagem base: color, altura 933 pixels e largura 1328 pixels, 300 dpi, 24 bits, tamanho 287 Kb. Compactada; trabalhada com o software Corel Draw X3® versão 13, formato: JPG. Disponível em: <<http://earth.google.com/>>. Acesso em 10 de agosto de 2008.

<sup>47</sup> NASA/GOOGLE®EARTH® Software Imagem base: color, altura 314 pixels e largura 402 pixels, 101 dpi, 48 bits, tamanho 210 Kb. Compactada; trabalhada com o software Corel Draw X3® versão 13, formato: JPG. Disponível em: <<http://earth.google.com/>>. Acesso em 10 de agosto de 2008.

Prioriza-se neste estudo, o subsistema termodinâmico, ou seja, o conforto térmico. A partir do estudo do comportamento da temperatura, umidade relativa do ar e do revestimento do solo, é possível conhecer brevemente como a atmosfera se comporta e é influenciada pelas modificações existentes na cidade.

Através da revisão da literatura referente à temática do clima e da pavimentação foram escolhidos pontos, no Novo Centro da cidade de Maringá, que sejam representativos para a medição da umidade do ar, da temperatura do revestimento do solo e da temperatura local. Para que sejam feitos os estudos comparativos dos dados e influências locais, as pavimentações selecionadas serão piso intertravado de concreto, asfalto, ladrilho hidráulico, cascalho e solo exposto (ver figura 162).

Os equipamentos utilizados serão o TDHL 400 da Instrutherm e um termômetro a laser do tipo infravermelho (figura 163), para medidas de temperatura ambiente, temperatura do solo e umidade relativa do ar. O TDHL 400 é um aparelho que tem a função de termômetro, higrômetro, decibelímetro e luxímetro.



**Figura 174: Ilustrações dos aparelhos: THDL 400 e termômetro a laser, respectivamente.**

**Fonte: BRASIL HOBBY, 2008; DIMOPEL, 2008.**

O levantamento de campo será realizado após um período de chuva, com dia de sol, nos horários de 8h00min, 10h00min, 12h00min, 15h00min, 18h00min, 20h00min e às 22h00min. Após as observações e mensurações de dados será feita análise dos mesmos coletados, para se verificar as possíveis diferenças da temperatura do piso ecológico desenvolvido e outros, como, por exemplo, o asfalto, o paver, o ladrilho hidráulico, etc.

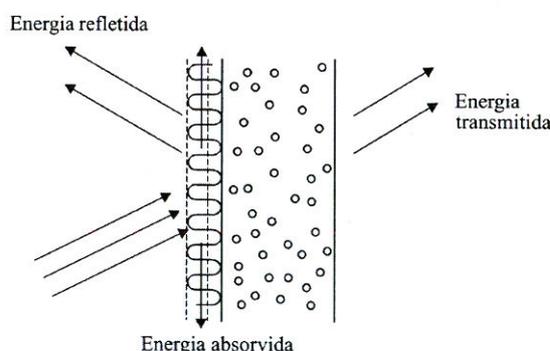
Este resultado demonstrará a importância da pavimentação dentro do perímetro urbano, em relação ao conforto térmico. Sendo esta uma discussão importante no desenvolvimento de materiais e produtos que agreguem benefícios às cidades, ao meio ambiente e à população, melhorando de alguma forma a qualidade de vida urbana.

## ANEXO B – MÉTODO PARA REALIZAÇÃO DO TESTE DE ABSORÇÃO ACÚSTICA

---

Será avaliada a absorção acústica e espera-se que, caso haja boa absorção acústica do material, este também poderá ser aplicado com o propósito de minimizar o ruído urbano, ou então, em recintos fechados que necessitem de tratamento acústico.

Quando uma onda sonora atinge um painel, os seguintes fenômenos ocorrem: parte da energia é refletida, parte da energia passa através do mesmo para o local vizinho e parte da energia é absorvida pelo material de revestimento (figura 164). Assim, a absorção sonora consiste na transformação da energia sonora em energia térmica, com fundamental importância no controle da sonoridade de um local (SANTOS, 2005).

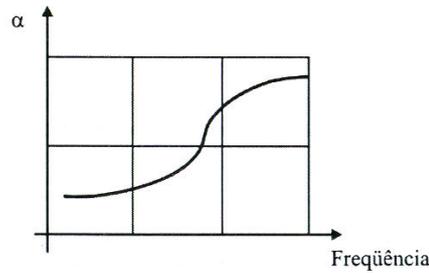


**Figura 175: Fenômenos produzidos quando uma onda sonora encontra um painel**

**Fonte: SANTOS, 2005**

Para Bistafa (2006), os materiais tipicamente utilizados para absorver o som são os fibrosos e os porosos. A absorção é realizada através da dissipação da energia sonora por atrito, pelo movimento das moléculas do ar no interior do material. Geralmente estes materiais apresentam baixos coeficientes de absorção sonora nas baixas frequências, em decorrência da espessura do material.

A quantidade de energia absorvida depende das características dos materiais, como a sua espessura, posicionamento e quantidade. Basicamente são três famílias que compõem os materiais absorvedores: materiais porosos ou fibrosos (é o caso do piso ecológico) com células de ar abertas para comunicação entre elas; materiais ressonadores e o painel vibrante, membrana ou diafragma. Nos materiais porosos ou fibrosos os “sons agudos penetram nos poros destes materiais, causando atrito sobre as paredes dos canais e deformações, o que gera perdas de energia sob forma de calor”, demonstrado no gráfico da figura 165 (SANTOS, 2005, p. 24).



**Figura 176: Curva de absorção sonora de material poroso**

**Fonte: SANTOS, 2005**

Os recintos devem ser sem excessos de reflexões, as quais podem ser controladas com a aplicação de materiais absorvedores. O tempo de reverberação é a grandeza física que quantifica a absorção acústica dos materiais. Essa definição é traduzida pela fórmula de Sabine (eq. 8.2.1):

$$T_r = \frac{0,16V}{A} \quad \text{onde} \quad A = \sum_{i=1}^n S_i \cdot \alpha_i \quad \text{48} \quad \text{(Eq. 8.2.1)}$$

Para:

$T_r$  = tempo de reverberação (s);

V = volume da sala ( $m^3$ );

A = área de absorção equivalente ( $m^2$ );

S = área das superfícies que compõem o ambiente ( $m^2$ );

---

<sup>48</sup> Conforme KUTTRUFF (2007):

$$T = \frac{24 \cdot \ln 10}{c} \cdot \frac{V}{A}$$

Inserting the sound velocity of air leads to:

$$T = 0,163 \frac{V}{A}$$

Here all lengths are in metres.

Se os valores da temperatura e da velocidade do som forem igual as seguintes, tem-se os diferentes valores para a constante:

Temperatura = 22°C	Temperatura = 14°C	Temperatura = 20°C
Velocidade do som = 344,75 m/s	Velocidade do som = 339,9 m/s	Velocidade do som = 343,54 m/s
Constante = 0,1603	Constante = 0,1626	Constante = 0,1609

$\alpha$  = coeficiente de absorção acústica Sabine.

Para medir o coeficiente de absorção sonora “ $\alpha$ ” de um determinado material existem vários métodos conhecidos como: tubo de Kunt ou de onda estacionária; método do *tone burst* (para ângulos de incidência) e método da câmara reverberante (exige câmaras normalizadas pela ISO 354/2003). Esta última é a que será utilizada para medir o coeficiente de absorção acústica do piso ecológico nesta pesquisa.

### **Determinação do coeficiente de absorção sonora de Sabine do piso ecológico em câmara reverberante**

Para a determinação do coeficiente de absorção sonora de Sabine do piso ecológico, serão utilizadas as recomendações da ISO 354/2003 – Acoustics – Measurement of sound absorption in a reverberation room.

Conforme a ISO/2003, o volume da câmara reverberante deve ser de no mínimo 150m<sup>3</sup>. Para novas construções o volume recomendado é de no mínimo 200m<sup>3</sup>. E quanto à forma, a câmara reverberante deve obedecer à condição imposta pela Equação 8.2.2.

$$l_{m\acute{a}x} < 1,9 * V^{1/3} \quad (\text{Eq. 8.2.2})$$

Onde:

$l_{m\acute{a}x}$  = comprimento da linha reta mais longa que se ajusta nos limites da câmara (por exemplo, em uma sala retangular é a diagonal principal) [m];

V = é o volume da câmara [m<sup>3</sup>].

Assim, para os ensaios serão seguidas as seguintes características normalizadas pela ISO 354/2003 (apud LISOT, 2007 e SANTOS, 2005):

- O volume da câmara reverberante deve estar na ordem de 200 m<sup>3</sup>;
- Não possuir superfícies paralelas;
- Respeitar as dimensões conforme a equação 4.6.1;
- A área do material absorvente a ser testado deve estar entre 10 e 12 m<sup>2</sup>;
- A amostra do material testado deverá ter forma retangular com relação entre largura e comprimento de 0,7 e 1. este deverá estar disposto de forma que nenhuma parte esteja a menos de 1 metro dos limites da câmara, para casos extremos esta distância pode ser de pelo menos 0,75 metros;

- Os tempos de reverberação devem ser maiores que os apresentados na tabela 30;

**Tabela 40: Tempos de reverberação mínimos para a sala reverberante**

Frequência	$T_r$ (s)
125	5,0
250	5,0
500	5,0
1000	4,5
2000	3,5
4000	2,0

**Fonte: SANTOS, 2005**

- As medições deverão ser efetuadas em oitavas e terças de oitava;

Serão realizadas duas medições:

- Com a sala vazia;
  - Com a sala com área de peças 10 a 12 m<sup>2</sup> do piso ecológico.
- Para reduzir o desvio padrão científico, deve-se usar várias posições dos microfones e das fontes sonoras;
  - A umidade relativa deve estar entre 30 e 90% e a temperatura deve ser de pelo menos 15°C. Deve-se ter cuidado com mudanças de temperatura e umidade relativa no decorrer da medição, estas podem ter um grande efeito no tempo de reverberação medido, principalmente nas altas frequências e baixas umidades relativas.

Conforme SANTOS (2005), as principais vantagens deste método são: a medição do desempenho sonoro dos materiais testados em tamanho real, se aproximando da aplicação prática e real dos mesmos materiais na arquitetura; e a medição do coeficiente de absorção com incidência aleatória de ondas, o que se assemelha com as condições reais dos ambientes na arquitetura.

Para Santos (2005), o fato de as medições serem realizadas em frequências de oitavas e terças de oitava, torna-se mais fácil calcular, pela fórmula de Sabine, e assim deduzir os coeficientes de absorção de  $\alpha$  do material testado. A Fórmula de Sabine foi descrita na equação 8.2.1. O coeficiente de absorção sonora Sabine de um material testado é dado pela equação 8.2.3.

$$\alpha = \frac{A}{S} \quad (\text{Eq. 8.2.3})$$

Onde:

S = área em metros quadrados da amostra em teste;

A = absorção calculada pela equação 8.2.4;

$$A = 55,3 \frac{V}{C} \left[ \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right] \quad (\text{Eq. 8.2.4})$$

Sendo:

T<sub>1</sub> = tempo de reverberação, em segundos, da câmara reverberante vazia;

T<sub>2</sub> = tempo de reverberação, em segundos, da câmara reverberante após a introdução da amostra teste;

C = velocidade do som no ar em m/s, observação: para temperaturas (t) entre 15 a 30°C, a velocidade do som no ar pode ser calculada pela equação 8.2.5.

$$C = 331,4 + 0,607(t) \quad (\text{Eq. 8.2.5})$$

“Os dias prósperos não vêm por acaso, nascem de muita fadiga e persistência.”

HENRY FORD

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)