TAO: uma metodologia para implantação de edificação
Ênfase no desempenho térmico, acústico, luminoso e energético

Profa Dra Márcia Peinado Alucci
FAUUSP Departamento de Tecnologia

TAO: uma metodologia para implantação de edificação

Ênfase no desempenho térmico, acústico, luminoso e energético

Tese para obtenção do título de Livre-Docente

Profa Dra Márcia Peinado Alucci

FAUUSP – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo
Departamento de Tecnologia

São Paulo

Janeiro 2007

FICHA CATALOGRÁFICA

Alucci, Marcia Peinado

TAO: uma metodologia para implantação de edificação.

Ênfase no desempenho térmico, acústico, luminoso e energético / Marcia Peinado Alucci.

– São Paulo, 2007.

145 páginas

Tese de Livre Docência

1. Conforto Térmico das Construções 2. Conforto Ambiental 3. Energia (Eficiência)

CDU: 697

TAO: uma metodologia para implantação de edificação
Márcia Peinado Alucci
Departamento de Tecnologia da FAUUSP 2007

Agradecimentos

À VIDA..... por absolutamente tudo e todos com que me presenteou!

(Cap. I I)

**“Trinta raios cercam o eixo:
a utilidade do carro consiste no seu nada.
Escava-se a argila para modelar vasos:
a utilidade dos vasos está no seu nada.
Abrem-se portas e janelas para que haja um quarto:
a utilidade do quarto está no seu nada.**

**Por isso o que existe serve para ser possuído
e o que não existe, para ser útil.”**

Tao Te Ching, Lao Tse (século VII aC)
Tradução Richard Wilhelm

Resumo

Este trabalho tem por objetivo propor uma metodologia para implantação de uma edificação em um dado terreno, de modo a otimizar seu desempenho térmico, acústico, luminoso e energético.

A definição de tal metodologia baseia-se na hipótese de que “existem” alternativas de implantação nas quais os requisitos de conforto dos usuários podem ser atendidos, com a máxima eficiência energética.

A estrutura da metodologia está construída com dois objetivos específicos:

- avaliar os resultados de diferentes hipóteses de implantação da edificação no terreno, e
- introduzir modificações no projeto arquitetônico que otimizem uma dada implantação.

O ponto de partida para aplicação da metodologia em questão é a caracterização do “entorno” do terreno e a definição das características climáticas regionais. O “entorno” caracteriza-se pelas edificações presentes nos terrenos adjacentes e qualidade do ambiente sonoro, gerado pelo tráfego viário. As características climáticas regionais são função da cidade escolhida para execução do projeto arquitetônico.

O projeto arquitetônico da edificação a ser implantada é caracterizado pelas dimensões, características da envoltória e do programa adotado pelo projetista.

A cada alternativa de implantação da edificação no terreno são avaliados oito critérios de desempenho, aplicados às quatro fachadas da edificação de um ambiente “tipo” no primeiro pavimento e no último pavimento, para situações de verão e de inverno.

O resultado da aplicação dos oito critérios são reunidos em um “quadro resumo” que permite identificar, para 24 (vinte e quatro) alternativas de implantação (correspondente a azimutes de 15° em 15°), quais os critérios de desempenho são atendidos.

Considerando a complexidade dos métodos de avaliação de desempenho adotados para cada um dos aspectos (térmico, acústico, luminoso e energético) e o tempo demandado para tal avaliação, foi desenvolvido um software para viabilizar a aplicação da metodologia aqui proposta. Tanto a metodologia como o software respondem pelo nome de “**TAO**”¹.

¹TAO (Dào):“.....o caminho, o caminhante, o caminhar.....”segundo a filosofia chinesa.“O que vitaliza o universo são dois princípios ou substâncias que combinados são o TAO: o yang (luz, calor ...) – que existe especialmente concentrado no Céu – e o yin (sombra, frio....) – que existe especialmente concentrado na Terra.” (Lao Tse: citado em Capra, 1983).

Abstract

The aim of this work is to propose a methodology for building's site planning of in a specific site, in order to optimize its thermal, acoustics, lighting and energy performance.

This methodology is based on the hypothesis that there are site planning alternatives in which the environmental comfort criteria can be achieved, considering the maximum building's energy efficiency.

The methodology structure is consisted of two specific objectives:

- assess the results of different building's site planning hypothesis on a specific site, and
- introduce modifications in the architectural design that can optimize a certain building's site planning to environmental comfort criteria and energy efficiency.

The starting point for the application of this methodology is the characterization of the immediate surroundings of the site and the definition of the local (or regional) climatic conditions. The concept of the immediate surroundings for this work encompasses the buildings from the adjacent sites and the quality of the acoustic environment, generated by the aerial traffic. The regional climatic characteristics vary according the city chosen for building project.

The architectural design is characterized by the geometric dimensions, aspects of the building's envelop and for the characteristics of the programme of activities.

To each alternative for the site planning of the building on a specific site, eight topics of performance criteria, applied to the four building's facades, considering a “typical environment in the first floor and another one in the last floor of the building, to summer and winter scenarios.

The results are shown in a “summary board ” which allows the identification of which of the criteria were successfully achieved, for the 24 site planning alternatives (corresponding to azimuths of 15° and 15°).

Regarding the complexity of the methodology for the performance assessments adopted for each of the environmental topics (thermal, acoustic and lighting comfort and energy efficiency) and the time demanded for such a comprehensive assessment it was developed a software to visualize the proposed methodology. In that context, as the methodology as the software are called “TAO”¹.

¹ TAO(Dào): “.....the way, the walker; to walk....”according to the Chinese philosophy, “What vitalize the universe are two principles or substances that combined are the TAO: o yang (light, heat) – that exists especially concentrated in the sky – and the yin (shadow, cold....) – that exists especially concentrated in the earth.” (Lao Tse: cited in Capra, 1983).

Lista de figuras

Figura 1: Parâmetros básicos para aplicação da metodologia “TAO”.	31
Figura 2: Temperatura e umidade relativa máximas e mínimas na cidade de São Paulo.	32
Figura 3: Irradiação solar em plano horizontal na cidade de São Paulo.	32
Figura 4: Caracterização do entorno imediato do terreno.	33
Figura 5: Localização dos ambientes que devem ser avaliados nas quatro fachadas.	35
Figura 6: Profundidade “d” do ambiente onde a luz natural é suficiente para atender as exigências de conforto luminoso, durante 80% das horas do ano.	37
Figura 7: Exemplo do resultado da avaliação do desempenho luminoso para uma dada implantação da edificação no terreno, com base na variável “profundidade” d.	37
Figura 8: Exemplo do resultado da caracterização do desempenho luminoso para uma dada implantação da edificação no terreno, com base na variável “consumo de energia elétrica”.	38
Figura 9: Exemplo do resultado da avaliação de desempenho térmico de ambientes em quatro fachadas distintas, com base no parâmetro temperatura do ar interior.	38
Figura 10: Exemplo do resultado da avaliação do desempenho energético de ambientes em quatro fachadas distintas, com base no	39

parâmetro consumo de energia elétrica.

- Figura 11:** Exemplo do resultado da avaliação do desempenho energético de ambientes em quatro fachadas distintas, com base no parâmetro consumo de energia elétrica, quando utilizado brise nas janelas (comparar com a figura anterior). **39**
- Figura 12:** Nível sonoro (dB(A)) nas quatro fachadas, nos pavimentos inferiores e superiores, decorrentes do tráfego local. **40**
- Figura 13:** Conjunto de resultados obtidos a partir da avaliação de desempenho de diferentes implantações de uma dada fachada da edificação no terreno. **41**
- Figura 14:** Tela de abertura do software “TAO 2006” (versão beta). **44**
- Figura 15:** Tela do software “TAO 2007” que descreve a seqüência de operações do programa. **44**
- Figura 16:** Desenho esquemático que orienta o usuário na entrada de dados referentes às dimensões e orientação do terreno. **45**
- Figura 17:** Desenho esquemático que orienta o usuário na entrada de dados referentes às dimensões e localização das obstruções. **45**
- Figura 18:** Localização do terreno e entorno gerado pelo programa a partir das informações do usuário. **46**
- Figura 19:** Desenho esquemático que orienta a entrada de dados relativos às cotas do primeiro e último pavimentos tipo. **46**
- Figura 20:** Tela de entrada dos dados relativos ao edifício. **47**

Figura 21: Tela de entrada de dados que permite observar, em tempo real, o impacto da mudança de orientação da edificação e demais características do projeto no desempenho da mesma.	50
Figura 22: Tela descrevendo os resultados numéricos da aplicação dos procedimentos de cálculo para avaliação do desempenho térmico, acústico, luminoso e energético da edificação, em função da implantação da mesma no terreno.	51
Figura 23: Tela indicativa do conjunto dos resultados da avaliação de desempenho da edificação em função de 24 opções de implantação da mesma no terreno.	52
Figura 24: Os azimutes ideais podem sugerir uma alternativa de planta que otimiza todas as fachadas.	54
Figura 25: Tela do software “TAO 2007” que reúne o conjunto de azimutes ideais por fachada da edificação em estudo.	55
Figura 26: Variação horária da temperatura e umidade relativa do ar da cidade de São Paulo, no mês mais quente (fevereiro). Fonte: Climaticus (Alucci, 2005).	56
Figura 27: Variação horária da temperatura e umidade relativa do ar da cidade de São Paulo, no mês mais frio (julho). Fonte: Climaticus (Alucci, 2005).	56
Figura 28: Distribuição mensal da direção do vento em São Paulo (primeira predominância). Fonte: Climaticus (Alucci, 2005)	57
Figura 29: Distribuição mensal da velocidade do vento em São Paulo (primeira predominância) Fonte: Climaticus (Alucci, 2005)	57

Figura 30: Totais de irradiação solar nos componente verticais acumulados durante um dia típico de verão e inverno.	58
Figura 31: Foto aérea do terreno utilizado para aplicação do software “TAO 2007”.	58
Figura 32: Indicação da área do terreno, obstrução equivalente e vias do entorno do terreno que contribuem com ruído gerado pelo tráfego local.	59
Figura 33: Desenho gerado pelo software “TAO 2007” indicando a implantação do terreno, orientação, direção dos ventos, calçadas e vias do entorno do terreno.	59
Figura 34: Dados de entrada para caracterização do tráfego local.	60
Figura 35: Planta do andar tipo da edificação a ser implantada no terreno.	61
Figura 36: Elevação da edificação a ser implantada no terreno.	61
Figura 37(a): Dados de entrada do software “TAO 2007” que caracterizam as dimensões e uso dos ambientes da edificação.	62
Figura 37(b): Dados de entrada para caracterização das fachadas da edificação a ser implantada.	62
Figura 38: Tela “resumo dos resultados” com indicação dos azimutes ideais para dois pavimentos por fachada (quatro fachadas), para verão e inverno.	63
Figura 39: Tela de apresentação dos resultados da avaliação com	64

indicação dos critérios de desempenho atendidos para as quatro fachadas, para 24 possibilidades de azimute.

Figura 40: Tela “resumo dos resultados numéricos”, onde os valores podem ser comparados para os vários azimutes e orientar na escolha de uma implantação mais adequada para a edificação. **65**

Figura 41: Variação horária da temperatura do ar interior na área de circulação (fachada C, azimute 345°) conforme projeto original: sem abertura de ventilação. **66**

Figura 42: Temperatura do ar interior na área de circulação (fachada C, azimute 345°), com abertura de ventilação e proteção solar (brise). **66**

Figura 43: Estimativa do consumo de energia elétrica pelo sistema de iluminação artificial, na área destinada à circulação (fachada C), em duas hipóteses: fachada cega e fachada com abertura. **67**

Figura 44: Profundidade crítica “d” onde a iluminância atinge o valor desejado (por exemplo, 300 lux). **70**

Figura 45: % da área do piso que pode ser resolvida com iluminação natural, durante 80% das horas do ano. **70**

Figura 46: Distribuição da frequência de ocorrência de nebulosidade em 57 cidades brasileiras. Fonte: Climaticus (Alucci, 2005) **71**

Figura 47: Distribuição horária da iluminância em plano horizontal e vertical, no mês de março, em São Paulo, para uma fachada Norte, como contribuição do céu, considerando céu parcialmente encoberto. **72**

Figura 48: Distribuição horária da iluminância em plano horizontal e vertical, no mês de março, em São Paulo, para uma fachada Norte, como contribuição do sol em céu parcialmente encoberto.	73
Figura 49: Distribuição horária da iluminância em plano vertical, no mês de março, em São Paulo, para uma fachada Leste, como contribuição do sol e céu, considerando céu tipo parcialmente encoberto.	73
Figura 50: Distribuição horária, ao longo do ano, da iluminância no plano de fachada Norte, em São Paulo. Os valores assinalados em verde indicam que os mesmos são iguais ou superiores a 10000 lux.	74
Figura 51: Frequência de ocorrência dos valores iluminância no plano de fachada Norte, em São Paulo.	74
Figura 52: Ângulo de elevação (θ) da obstrução em relação ao ponto P.	75
Figura 53: Ângulos em planta entre o ponto P e a obstrução.	75
Figura 54: Ângulo superior (Φ_{sd}) correspondente à largura e à altura da obstrução.	75
Figura 55: Ponto P localizado a 5 m da obstrução, na linha central da mesma e 1,5 m do piso	76
Figura 56: Diagrama de insolação com aplicação da máscara correspondente à obstrução.	77
Figura 57: Definição dos limites da obstrução em planta.	78
Figura 58: Distribuição dos períodos do ano em que a obstrução	78

impede a incidência de sol na fachada Norte, em São Paulo.
Dimensões da obstrução descritas na figura 55.

Figura 59: Distribuição da frequência de ocorrência da iluminância em fachada Norte, em São Paulo. **79**

Figura 60: Distribuição da iluminância no plano de trabalho em ambiente com orientação Norte, com e sem obstrução no entorno, em São Paulo. **80**

Figura 61: Esquema para definição de uma janela equivalente. **80**

Figura 62: Distribuição da iluminância no plano de trabalho, em fachada Norte, em São Paulo, considerando janela com proteção solar (brise) e sem proteção solar. **81**

Figura 63: Resultados da pesquisa de Humphreys (citado por Santamouris, 1996) que correlaciona a temperatura de conforto e a temperatura média mensal da região. **83**

Figura 64: Consumo de energia elétrica estimado em ambientes com orientação N, S, E e W, sem a presença de brise. **84**

Figura 65: Consumo de energia estimado em ambientes com orientação N, S, E e W, com a presença de brise. **84**

Figura 66: Variação horária da temperatura do ar interior indicando o efeito do brise no desempenho térmico do ambiente. Observar que o brise terá efeito negativo na eficiência da iluminação natural do ambiente. **85**

Figura 67: Exemplo de ganhos de carga térmica em ambiente típico **87**

de escritório, para mês de verão, em São Paulo.

Figura 68: Consumo de energia elétrica estimado para quatro tipos de vidro, considerando o aproveitamento da luz natural (São Paulo, fachada oeste, fevereiro). **90**

Figura 69: Distribuição horária da irradiação solar direta em abertura com azimute 90°, São Paulo, fevereiro. **91**

Figura 70: Distribuição horária da irradiação solar difusa em abertura com azimute 90°, São Paulo, fevereiro. **91**

Figura 71: Dimensões do brise (placa horizontal) para cálculo do Fator de Sombreamento do Brise (FSB). **92**

Figura 72: Corte esquemático para determinação da vazão por efeito chaminé, quando o ambiente dispõe de uma única abertura (BS 5925(1991)). **96**

Figura 73: Corte esquemático para determinação da vazão por efeito chaminé, quando o ambiente dispõe de duas aberturas na mesma fachada (BS 5925(1991)). **96**

Figura 74: Corte esquemático para cálculo da vazão por efeito chaminé em ambientes com aberturas em fachadas opostas (BS 5925 (1991)) **97**

Figura 75: Gráfico para incremento da vazão causada pela diferença entre áreas de entrada e saída de ar no ambiente. **97**

Figura 76: Gráfico para identificação da zona neutra e vazão de ar final, por efeito chaminé, no ambiente. **98**

Figura 77: Exemplo para aplicação do procedimento de cálculo da vazão por efeito chaminé.	98
Fig 78: Distribuição dos coeficientes de pressão (C_p) em fachada vertical em função da direção de incidência do vento (Sharag, 2006).	100
Figura 79: Exemplo de distribuição dos coeficientes de pressão (C_p) em função da direção do vento nas fachadas (extraídos da figura 78).	100
Figura 80: Esquema para identificação dos ângulos que definem os coeficientes de pressão de uma fachada para vento perpendicular à obstrução.	101
Figura 81: Gráfico para determinação dos coeficientes de pressão em função de α_v e α_h (ver figura 80).	101
Figura 82: Gráfico para determinação do coeficiente de pressão na fachada em função do ângulo de deslocamento (α_d) da obstrução.	102
Figura 83: Definição de obstáculo equivalente para cálculo de C_{pi} .	102
Figura 84: Conjunto de obstruções no entorno da edificação (em vermelho) para a qual serão calculados os valores de C_p nas fachadas.	103
Figura 85: Esquema para identificação das obstruções e “vazios” (gaps) que devem ser computados no cálculo do coeficiente de pressão no ponto P. As obstruções e os gaps estão incluídos em ângulo de 140° .	103
Figura 86: Variação horária da temperatura do ar interior em um ambiente típico de escritório, em São Paulo, no verão, para fachadas de orientação leste e oeste.	104

Figura 87: Consumo de energia elétrica mensal estimado para um mesmo ambiente se orientado para quatro direções distintas, com proteção solar externa (brise) e sem proteção. Sistema de iluminação artificial acionado durante todo o período de atividade (verão, São Paulo).	108
Figura 88: Consumo de energia elétrica mensal estimado para um mesmo ambiente orientado para quatro direções distintas, com proteção solar externa (brise) e sem proteção. Sistema de iluminação artificial acionado somente para complementar a iluminação natural. (verão, São Paulo).	108
Figura 89: Consumo estimado de energia elétrica pelo sistema de ar condicionado e pelo sistema de iluminação artificial, para ambientes com proteção solar externa (brise).	109
Figura 90: Consumo estimado de energia elétrica pelo sistema de ar condicionado e pelo sistema de iluminação artificial, para ambientes sem proteção solar externa (brise).	109
Figura 91: Distribuição do nível de pressão sonora (dB), por frequência, correspondente à curva NC 45 (NBR 10152).	110
Figura 92: Parâmetros que definem o nível sonoro num dado ponto da fachada da edificação.	111
Figura 93: Valores do nível sonoro (dB(A)), obtidos por Josse (1975) em Paris e Calixto (2003), em Curitiba.	112
Figura 94: Valores de correção (cv) do nível sonoro na borda da calçada em função da velocidade dos veículos (equação 79)	112

Figura 95: Valores de correção (ci) no nível sonoro na borda da calçada em função da inclinação da pista (equação 80)	113
Figura 96: Valores de correção (cp) no nível sonoro na borda da calçada em função da porcentagem de veículos pesados (equação 81).	113
Figura 97: Desenho esquemático para aplicação da equação 78.	114
Figura 98: Desenho esquemático para calcular o nível sonoro (em dB) no ponto Pf de uma fachada não paralela à via que gera o ruído.	116
Figura 99: Variação do nível sonoro em ponto da fachada localizado a 10,5 m de altura (em relação à cota da calçada), em função da inclinação da fachada com relação ao eixo da via.	117
Figura 100: Acréscimo do nível sonoro (dB(A)) em “canyons” urbanos (em relação aos valores medidos em áreas sem edificações. (Josse, 1975).	118
Figura 101: Localização da fonte sonora virtual decorrente da presença de obstrução.	118
Figura 102: Nível sonoro de referência para três classes de veículos em função da velocidade média (Bistafa, 2006).	119
Figura 103: Nível sonoro a 30 m de distância do eixo da pista, determinado com modelo proposto pela FHWA (Bistafa, 2006) e Josse (1975).	122

Lista de tabelas

Tabela 1: Classificação do tipo de céu em função da nebulosidade, proposta pela NBR 15215-2 (2003).	71
Tabela 2: Valores do fator de conversão V para cálculo da iluminância em plano vertical (contribuição da abóbada celeste) (NBR 15215-2) (2003).	72
Tabela 3: Valores de absorção à irradiação solar (Frota & Schiffer, 1988)	88
Tabela 4: Valores do coeficiente global de transmissão térmica ("U") para vedos verticais (NBR 15220-3) (2005).	89
Tabela 5: Valores de condutividade térmica de materiais de construção (NBR 15220-3) (2005).	90
Tabela 6: Parcelas de calor sensível e calor latente geradas pelos usuários em função do tipo de atividade (W).	92
Tabela 7: Valores de carga térmica devido aos equipamentos (Brown & DeKay, 2004).	94
Tabela 8: Valores de correção para cálculo da velocidade do vento, propostos pela BS 5925 (1991).	99
Tabela 9: Valores da taxa de renovação de ar nos ambientes condicionados recomendados pela NBR 6401 (1978).	106
Tabela 10: Valores dos níveis sonoros recomendados pela NBR 10152 (1987).	110

Tabela 11: Distribuição dos valores em dB(A), por frequência, para distintos tipos de vias (medidas realizadas pelo IPT).	114
Tabela 12: Valores de potência sonora, por frequência, correspondentes ao nível sonoro produzido por 2000 veículos/hora.	115
Tabela 13: Valores do nível sonoro corrigidos (Lcc) (dB(A)) a partir da curva padrão (Lcp) (dB(A)). Valores do filtro que transformam dB(A) em dB. Coluna Lc indica os valores do nível sonoro na borda da calçada em dB.	115
Tabela 14: Valores do nível sonoro (em dB) obtidos na altura 10,5 m na fachada.	116
Tabela 15: Valores de pressão sonora na fachada, em ponto localizado a 10,5 m de altura.	117

Lista de siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
BSI	British Standard Institution
CET	Companhia Estadual de Trânsito
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
CSTB	Centre Scientifique et Technique du Batiment
EDSL	Environmental Design Solutions Limited
FHWA	Federal Highway Administration (USA)
IES	Illuminating Engineering Society of North America
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. S.A.
ISO	International Organization for Standardization
LABEEE	Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina
WHO	World Health Organization

Sumário

Introdução26

1. TAO: a metodologia proposta29

1.1 Condições de exposição32

1.1.1 Características climáticas32

1.1.2 Entorno construído33

1.1.3 Ambiente sonoro33

1.2 A edificação34

1.2.1 Características construtivas34

1.2.2 Programa e uso35

1.3 Avaliação de desempenho35

1.3.1 Desempenho luminoso36

1.3.2 Desempenho térmico37

1.3.3 Desempenho energético38

1.3.4 Desempenho acústico39

1.4 A implantação ideal da edificação40

2. TAO 2007: o software44

2.1 Estrutura do software44

2.1.1 Dados de entrada44

2.1.2 Procedimentos de avaliação46

2.1.3 Dados de saída49

2.2 Futuras versões54

3. 0 Aplicação do “TAO 2007”: estudo de caso56

3.1 Dados de entrada56

3.1.1 Características climáticas da cidade de São Paulo56

3.1.2 Terreno e entorno56

3.1.3 Projeto arquitetônico58

3.2 Dados de saída: a implantação ideal59

3.2.1 Otimização do projeto arquitetônico66

4. Fundamentação teórica68

4.1 Desempenho luminoso68

4.1.1 Critérios de avaliação69

4.1.2 Parâmetros de avaliação70

4.2 Desempenho térmico e eficiência energética82

4.2.1 Critérios de avaliação83

4.2.2 Parâmetros para avaliação do condicionamento natural84

4.2.3 Parâmetros para avaliação do condicionamento artificial104

4.3 Desempenho acústico109

4.3.1 Critérios de avaliação110

4.3.2 Parâmetros de avaliação111

5. Considerações finais123

6. Referências bibliográficas125

Anexos143

Introdução

A implantação de uma edificação no terreno necessariamente atende à requisitos legais, que em geral são estabelecidos por códigos de obra e leis de zoneamento. Tais instrumentos não contemplam aspectos relativos ao desempenho térmico, acústico, luminoso, ou mesmo energético da edificação. Evidentemente seria desejável que assim fosse, mas a questão que se coloca seria: qual a viabilidade de tal legislação? Nenhuma. Dada a especificidade de cada caso, determinada pelo: programa a ser cumprido, características climáticas locais, geografia da região, características da área urbana, geometria do entorno imediato, características culturais dos usuários e, particularmente, pelo partido arquitetônico defendido pelo projetista, nenhuma ação regulatória se tornaria viável. Assim, a alternativa aponta para a criação de instrumentos de avaliação que flexibilizem as decisões dos projetistas, considerando a realidade local e contemplando, principalmente, as intenções e o partido adotado pelo arquiteto.

Não existe ganho algum em engessar as decisões de projeto ou prescrever “modelos” que procurem garantir qualidade do espaço construído. Por outro lado, a prática arquitetônica tem mostrado que mesmo o conhecimento robusto da teoria do conforto ambiental por parte do arquiteto não implica necessariamente na produção da “boa arquitetura”.

As questões da sustentabilidade e da preservação ambiental vêm se colocando como prioridade na última década, o que implica em aumentar a complexidade da ação de projetar (edifícios ou cidades) e a responsabilidade dos profissionais da arquitetura e do urbanismo, tanto no chamado “primeiro mundo” como nos países em desenvolvimento.

Vista de uma perspectiva globalizada o que parece ficar evidente é a necessidade da compreensão das interfaces entre as áreas, como, por exemplo, o pseudo conflito entre resolver a matriz energética de um país e preservar seu meio ambiente. Não sabemos como tratar tais conflitos e portanto não dispomos de protocolos, leis ou marcos regulatórios. Talvez alguns paradigmas devam ser abandonados: a Terra já

foi o centro do universo e deu lugar ao Sol. Talvez o sol dê lugar ao SER HUMANO. É significativo que a questão “dos direitos humanos” ocupe diariamente o noticiário em todo o planeta.

Nesse contexto, talvez o ato de projetar e construir os espaços exija alguma reconsideração. A curto prazo, promover o aprofundamento e a integração do conhecimento das inúmeras áreas que afetam a criação dos espaços construídos, talvez esteja ao alcance desta e da próxima geração de arquitetos e urbanistas. Calcada nessa nova base e instrumentalizada pelo avanço da tecnologia, será possível o desenvolvimento de ferramentas poderosas para dar suporte aos projetistas sem intimidá-los ou engessa-los.

Este trabalho, tendo o exposto acima como cenário, tem por objetivo contribuir para a integração dos aspectos de conforto térmico, acústico, luminoso e energético das edificações, na fase de desenvolvimento do projeto arquitetônico. As hipótese que deram origem ao desenvolvimento da tese, poderiam ser resumidas nas seguintes assertivas:

- O desenvolvimento de um projeto arquitetônico sem uma avaliação que permita estimar as condições de conforto e consumo de energia elétrica na fase de uso da edificação implica em problemas irremediáveis depois de executada a obra, não só pelas dificuldades construtivas como também pelo custo envolvido nessas correções;
- A irresponsabilidade no projetar uma edificação, isto é, o desconhecimento do desempenho da edificação quando na sua fase de operação, em geral implica em transferir o ônus de possíveis erros para os usuários e para o meio ambiente;
- Dispor de um instrumento de avaliação que facilite a análise integrada de todos os aspectos do conforto e da conservação de energia elétrica não limita o processo de projetar dos arquitetos, mas, ao contrário, estimula a busca de soluções inovadoras e adequadas à realidade climática e atende ainda ao apelo nacional relativo à necessidade de racionalização do consumo de energia elétrica e preservação do meio ambiente.

– A ampliação da capacitação dos profissionais da arquitetura, implica no aumento do grau de exigência dos mesmos junto aos fabricantes, que não poderão colocar no mercado produtos sem as devidas informações técnicas.

– A ampliação da capacitação dos profissionais da arquitetura, implica no aumento do grau de exigência dos mesmos junto ao poder público, que não poderá se omitir da responsabilidade social de se integrar ao clamor global de buscar soluções imediatas de sustentabilidade e preservação do meio ambiente.

O presente documento está estruturado de modo não convencional, considerando-se que o primeiro capítulo já apresenta a proposta da metodologia (tradicionalmente esta deveria surgir como resultado final do trabalho).

Considerando-se a complexidade do método e as inúmeras avaliações que a aplicação da metodologia exige, no segundo capítulo é apresentada uma ferramenta em forma de software, que viabiliza sua aplicação sem demandar horas ou dias de avaliação. A versão em CD desse software encontra-se na contra capa deste trabalho.

Para ilustrar a aplicação do software, o terceiro capítulo apresenta um estudo de caso.

A fundamentação teórica de todos procedimentos de cálculo utilizados na metodologia está detalhada no capítulo 4.

A metodologia proposta foi denominada “TAO”, dado que a palavra expressa o conceito do ...”caminho do meio”...o compatibilizar alternativas.

Desenvolver essa metodologia foi produto de pelo trinta anos de atuações pontuais em cada uma das áreas (térmica, acústica iluminação e eficiência energética das edificações). Avaliar a eficiência da metodologia agora proposta é o próximo passo: ouvirei a todos...particularmente nossos alunos ...que já trazem a necessidade de integração no DNA.

I. TAO: a metodologia proposta

A metodologia proposta neste documento tem por objetivo identificar as alternativas “ideais” para implantação de uma edificação num dado terreno, considerando conjuntamente os aspectos climáticos locais, as características físicas das edificações do entorno, o ambiente sonoro gerado pelo tráfego urbano e as características do projeto arquitetônico da edificação a ser implantada.

A aplicação de tal metodologia responde, basicamente, a seguinte pergunta:

- qual a implantação “ideal” para uma edificação num dado terreno, considerando os aspectos do desempenho térmico, acústico, luminoso e energético da mesma?

A resposta à tal questão implica em identificar:

- a implantação que **minimiza o ganho de carga térmica** pela envoltória, eliminando ou minimizando o condicionamento artificial e conseqüente consumo de energia elétrica, sem comprometer o conforto térmico dos usuários;
- a implantação que **maximiza a iluminação natural** e **minimiza o consumo de energia elétrica** decorrente do uso do sistema de iluminação artificial, sem comprometer o conforto luminoso dos usuários;
- a implantação que **minimiza o ruído** gerado pelo tráfego local, promovendo o conforto acústico dos usuários, com janelas abertas.

Para obter tais respostas, a presente metodologia (**TAO**) sugere os procedimentos listados a seguir.

- identificar as condições de exposição às quais a edificação será submetida na fase de uso;
- selecionar as características construtivas e dados do programa que orientaram o desenvolvimento do projeto de arquitetura;

- aplicar os procedimentos de cálculo que permitem a caracterização do desempenho térmico, acústico, luminoso e energético da edificação em questão;
- comparar os resultados obtidos na caracterização do desempenho, para diferentes orientações da edificação no terreno, obtidos para as quatro fachadas, considerados os requisitos de conforto do usuário.
- identificar a alternativa “ideal” para implantação da edificação.

Cada um desses procedimentos está esquematizado na figura 1 e detalhado a seguir.

Figura 1: Parâmetros básicos para aplicação da metodologia “TAO”.

1.1 Condições de exposição

As condições de exposição às quais a edificação será submetida na fase de uso, inclui:

- características climáticas locais;
- entorno construído imediato determinado pelas construções vizinhas, calçadas e vias;
- ambiente sonoro, caracterizado pelo tipo de via e tráfego.

1.1.1 Características climáticas

As variáveis climáticas que devem ser identificadas são:

- a temperatura e umidade do ar;
- irradiação solar;
- ventos (direção e velocidade);
- nebulosidade e pressão atmosférica.

A seleção de cada uma dessas variáveis é função do tipo de avaliação desejado: a avaliação de desempenho térmico e energético deve ser realizada para o mês mais quente e mais frio do ano e dessa forma os valores de umidade e temperatura do ar necessários dizem respeito apenas à esses períodos (valores horários). Já a irradiação solar e nebulosidade devem ser obtidas (ou calculadas) para todas as horas do dia durante todos os dias do ano, uma vez que o desempenho luminoso é avaliado para situações com frequência de ocorrência 80% das horas do ano.

A título de exemplo, as figuras 2 e 3 reúnem as características climáticas referentes à temperatura e umidade do ar e radiação solar global em plano horizontal para a cidade de São Paulo. O procedimento completo para levantamento e tratamento das variáveis climáticas necessárias à aplicação da metodologia está detalhado em (Alucci, 1992). Os dados climáticos para principais cidades brasileiras podem ser acessados no software CLIMATICUS (Alucci, 2005)².

² Disponível na página da FAUUSP
endereço: <http://www.usp.br/fau/ensino/graduacao/disciplinas/paginas/conforto.html>

Figura 2: Valores de temperatura e umidade relativa máxima e mínima na cidade de São Paulo.

Figura 3: Valores de radiação solar em plano horizontal na cidade de São Paulo.

1.1.2 Entorno construído

O entorno construído da edificação (objeto de estudo) caracteriza-se:

- pela localização e geometria (largura, altura e profundidade) das edificações do entorno do terreno onde será implantada a edificação (figura 4), e,
- pela localização e dimensão dos passeios (calçadas) e vias de tráfego que “contornam” o terreno (figura 4).

Nos casos em que mais de uma obstrução está presente em um dos lados do terreno, recomenda-se substituí-las por uma obstrução equivalente, adotando-se, preferencialmente, uma equivalência geométrica que considere a altura como parâmetro relevante. Este critério decorre da importância dos horários de sombreamento provocados pelas edificações vizinhas, que passam a se comportar como obstruções.

Nota: Em alguns casos, como descrito no capítulo 3 deste documento, as obstruções mais significativas para avaliação das diferentes alternativas de implantação da edificação no terreno, não são exatamente aquelas que se situam no terreno vizinho. A decisão de considerar uma ou outra situação deve ser tomada caso a caso.

1.1.3 Ambiente sonoro

O ambiente sonoro, que permite avaliar o impacto do ruído de tráfego nos ambientes da edificação, caracteriza-se:

- pelo tipo de via (expressa, coletora, local),
- pelo número de veículos que trafegam em cada uma das vias (veículos/hora),
- pela parcela de veículos pesados, em cada uma das vias,
- pela velocidade média dos veículos.

Para efeito da metodologia aqui proposta não são consideradas outras fontes ruído eventualmente presentes no entorno da edificação (como ruídos de obras, fábricas, etc)

Figura 4: Caracterização do entorno imediato da edificação em estudo a ser considerado na identificação da implantação ideal da mesma no terreno.

1.2 A edificação

Quanto à edificação propriamente dita, as informações necessárias para aplicação da metodologia podem ser agrupadas em características construtivas e características do programa de uso (figura 1).

1.2.1 Características construtivas

Estão incluídas como características construtivas as informações relativas à envoltória, pavimento tipo e terreno. Para cada uma dessas características, os dados necessários, são:

Envoltória:

- dimensões da edificação (largura, altura e comprimento);
- relação entre áreas transparentes (ou translúcidas) e áreas opacas, para cada uma das quatro fachadas;
- aberturas:
 - dimensões (largura e altura);
 - fator solar e transmissão luminosa dos vidros;
 - dimensões da proteção solar (brise);
 - vedos opacos;
 - coeficiente global de transmissão térmica dos vedos verticais e horizontais;
 - cor dos revestimentos externos

Pavimento tipo:

- largura e profundidade (média) de um ambiente típico de cada fachada;
- pé direito médio de um ambiente típico de cada fachada;

Terreno:

- dimensões (largura, comprimento);
- orientação (observar que o “Norte” a ser indicado é o “Norte Verdadeiro”).

1.2.2 Programa e uso

Com relação ao programa de uso dos ambientes da edificação em estudo, devem ser selecionadas as seguintes informações:

- atividade a ser realizada nos ambientes do pavimento tipo, por fachada;
- período do dia ao longo do qual as atividades serão realizadas;
- número de dias no mês durante os quais as atividades serão realizadas;
- período de uso da luz artificial (somente para complementar a iluminação natural ou tempo integral);
- condicionamento natural ou artificial (observar que esta decisão já deve ter sido tomada na fase do ante-projeto da edificação);
- prioridade do aspecto de conforto (térmico, acústico, luminoso e energético) que deverá ser atendido.

Nota: Em função das atividades a serem realizadas no interior dos ambientes da edificação, do partido adotado pelo arquiteto e de variáveis culturais da região, será possível identificar qual dos aspectos de conforto terá prioridade. Se o aspecto “eficiência energética” for eleito como prioritário, tal decisão implicará no uso da ventilação natural e conseqüente “sacrifício” do conforto acústico. Evidentemente, a situação ideal seria o atendimento de todos os aspectos, mas na impossibilidade de fazê-lo, o resultado obtido com a aplicação da metodologia aqui discutida, permitirá introduzir alterações no projeto que minimizem os aspectos “sacrificados”.

1.3 Avaliação do desempenho

Com base nas informações reunidas nos itens 1.1 e 1.2, acima, para a caracterização de desempenho luminoso, térmico, energético e acústico, da edificação em estudo, devem ser aplicados os procedimentos descritos no capítulo 4 (Fundamentação Teórica) deste documento. Cabe ressaltar que:

- a caracterização de desempenho (térmico, acústico, luminoso e energético) deve ser realizada para dois ambientes “tipo” em cada uma das quatro fachadas da edificação, sendo um localizado no primeiro pavimento tipo e o segundo localizado no último pavimento tipo (figura 5).

Figura 5: Localização dos ambientes que devem ser avaliados nas quatro fachadas.

– o pavimento tipo se caracteriza por ambientes definidos, isto é, compartimentados com divisórias (ou paredes) de piso a forro.

– no caso da caracterização do desempenho térmico, a variável utilizada para a comparação entre distintas implantações é a temperatura do ar interior; neste caso, considerando que os valores limites de temperatura de conforto do usuário é conhecida (para condicionamento natural), é possível identificar as alternativas que apresentam desempenho satisfatório. No caso da caracterização do desempenho luminoso e energético, a variável utilizada é o consumo de energia elétrica. Neste caso, considerando a inexistência de um padrão normativo, só é possível a comparação entre os valores de consumo obtidos para as diferentes implantações. O critério para seleção da implantação mais adequada será o consumo de energia elétrica mínimo.

– para o caso do desempenho acústico, o parâmetro que permite identificar a implantação mais adequada refere-se ao nível sonoro que atinge cada uma das fachadas (nos oito ambientes); neste caso, a legislação disponível (NBR 10151 (2001)) limita o nível sonoro em função do tipo de ocupação da área onde se implantará a edificação. Dessa forma, tais limites podem ser usados como parâmetro de avaliação do desempenho acústico das diferentes implantações, o que permite a identificação da alternativa mais adequada. A adoção de tal critério está discutida no item 1.3.4.

Nos itens abaixo estão comentados cada um dos procedimentos para caracterização do desempenho dos oito ambientes selecionados, destacando-se o parâmetro adotado para proceder às avaliações.

1.3.1 Desempenho luminoso

1.3.1.1 Parâmetros de avaliação

Os parâmetros adotados para proceder à caracterização do desempenho luminoso de cada um dos oito ambientes, são:

- a profundidade máxima (“d”) do ambiente, passível de ser iluminada com luz natural durante 80% das horas do ano (figura 6).
- o consumo de energia elétrica decorrente do uso da iluminação artificial para complementar a iluminação natural.

O parâmetro para avaliar o desempenho luminoso, ou seja, o critério que expressa o conforto luminoso do usuário (nível de iluminância no plano de trabalho³, em lux), já está incluído na determinação da profundidade “d”, como descrito no capítulo 4: Fundamentação Teórica.

A identificação da profundidade “d” para os ambientes das quatro fachadas permite determinar a porcentagem da área de piso correspondente que dispensará o uso da iluminação artificial durante 80% das horas do ano (figura 7). O consumo de energia elétrica decorrente do uso da iluminação artificial será, portanto, proporcional ao restante da área (figura 8).

Nota: Na figura 8, os ambientes das fachadas A e D apresentam diferentes desempenhos para o pavimento inferior e superior devido à presença de obstruções no entorno.

1.3.2 Desempenho térmico

1.3.2.1 Parâmetros para avaliação

O parâmetro adotado para proceder à caracterização do desempenho térmico de cada um dos oito ambientes, é a temperatura do ar interior, no caso em que os ambientes não são condicionados artificialmente. O valor da temperatura do ar interior, uma vez calculada, deve ser comparado com o critério de conforto térmico dos usuários. Na presente metodologia, o critério adotado (temperatura de conforto) é determinado a partir das características climáticas locais, como detalhado no capítulo 4. A título de ilustração, a figura 9 indica os valores estimados de temperatura do

³ O nível de iluminância adequado para cada tipo de atividade é definido pela NBR 5413 (1982).

Figura 6: Profundidade “d” do ambiente onde a luz natural é suficiente para atender as exigências conforto luminoso, durante 80% das horas do ano.

Figura 7: Exemplo do resultado da avaliação do desempenho luminoso para uma dada implantação da edificação no terreno, com base na variável profundidade “d”.

ar às 15h (verão), para ambientes em quatro fachadas distintas, destacando-se o limite superior que caracteriza a condição de conforto aceitável para a região (28,6 °C). No referido gráfico (figura 9), é possível verificar que apenas os ambientes da “fachada B” (pavimento inferior e superior) encontram-se em conforto térmico, o que indicaria que os ambientes das demais fachadas necessitariam de alterações: sombreamento, ventilação ou condicionamento artificial.

Nota: Ver procedimento de cálculo da temperatura do ar interior no capítulo 4.

1.3.3 Desempenho energético

1.3.3.1 Parâmetros para avaliação

Para a caracterização do desempenho energético dos oito ambientes da edificação, o parâmetro utilizado é o consumo de energia elétrica decorrente:

- do condicionamento artificial dos ambientes;
- da utilização do sistema de iluminação artificial.

No que se refere ao desempenho energético das edificações não existem critérios normalizados que limitem o consumo de energia elétrica para qualquer tipo de edificação. Pesquisas realizadas por Romero (2004)⁴ indicam que edifícios caracterizadamente eficientes, em São Paulo, apresentam consumo de energia elétrica (pelo sistema de ar condicionado), da ordem de 15 kWh/mês/m². Para efeito da presente metodologia, foi adotado como critério de avaliação, o valor mínimo de consumo identificado no conjunto das soluções de implantação da edificação no terreno. No entanto, o valor de 15 kWh/mês/m², pode ser considerado uma referência, e poderá ser adotado (pela presente metodologia), quando for objeto de norma reguladora.

Quanto ao consumo de energia elétrica total (ar condicionado + sistema de iluminação artificial) o resultado obtido para cada alternativa de implantação da edificação no

⁴ ROMERO, M. A. (coord) et al.(2004) discute parâmetros internacionais que limitam o consumo de energia elétrica para condicionamento artificial.

Figura 8: Exemplo do resultado da caracterização do desempenho luminoso para uma dada implantação da edificação no terreno, com base na variável consumo de energia elétrica.

Figura 9: Exemplo do resultado da caracterização e avaliação do desempenho térmico de ambientes em quatro fachadas distintas, para uma dada implantação da edificação, com base no parâmetro temperatura do ar interior.

terreno permitirá identificar o consumo mínimo. Na figura 10, que representa o consumo para uma alternativa específica de implantação da edificação no terreno, fica clara a necessidade de proteção solar nas aberturas, por exemplo, que aumentaria o consumo de energia decorrente da iluminação artificial, mas reduziria o consumo para condicionamento artificial. Esta alternativa (uso de brise) está indicada no gráfico da figura 11. Observar que, com o uso do brise, o consumo de energia elétrica total na fachada B passou de 313,1 kWh/mês para 207,0 kWh/mês. No entanto, observar que para a fachada A, a presença da proteção solar nas janelas dos ambientes não implica em redução do consumo total de energia elétrica.

Nota: Ver procedimento de cálculo do consumo de energia no capítulo 4.

1.3.4 Desempenho acústico

Para a caracterização do desempenho acústico dos oito ambientes da edificação, é utilizado o parâmetro nível sonoro (NS) (em dB(A)) nas fachadas, produzido pelo tráfego urbano.

Estimados os valores do nível sonoro para os oito ambientes, é possível identificar as fachadas mais ou menos críticas, como indica a figura 12. Observar na referida figura que o pavimento superior na fachada C é o de menor impacto sonoro. Se adotado o valor limite de 60 dB(A) estabelecido pela NBR 10151 (2001) somente o pavimento superior (correspondente ao nono andar no caso do exemplo) poderia ser considerado adequado para o conforto acústico dos usuários. Para os demais ambientes, os resultados indicariam uma das alternativas:

- uso de revestimentos de alta absorção acústica no interior dos ambientes, que, segundo a literatura⁵, não possibilitam redução do ruído em valores superiores a 10 dB(A); no caso do exemplo não seria uma solução viável apenas para o pavimento inferior da fachada A.

⁵ Mendez (1994); Josse (1975).

Figura 10: Exemplo do resultado da caracterização do desempenho energético de ambientes em quatro fachadas distintas, para uma dada implantação da edificação, com base no parâmetro consumo de energia elétrica.

Figura 11: Exemplo do resultado do desempenho energético de ambientes em quatro fachadas distintas, para uma dada implantação da edificação, com base no parâmetro consumo de energia elétrica, quando utilizado brise nas janelas (comparar com a figura anterior).

- fechamento das janelas e conseqüente uso do condicionamento artificial,
- fechamento das janelas e tratamento das aberturas destinadas à ventilação natural (chicanas).

Nota: Segundo o pesquisador Fernando Pimentel-Souza do Laboratório de Psicofisiologia (www.icb.ufmg.br/lpf), ICB-UFMG Belo Horizonte, CP 486, 30.161.901, Brasil, “....o barulho transitório a partir de 35dBA já provoca reações vegetativas, que à longo prazo e em níveis mais elevados, se convertem permanentemente em hipertensão arterial, secreção elevada de catecolaminas e de hormônios corticosteroides e adrenocorticotróficos, úlcera péptica, estresse, irritação, excitação maniaco-depressiva, arteriosclerose, infarte, observados sobretudo em indústrias barulhentas, regiões urbanas, nas proximidade de aeroportos, etc. (Cantrell, 1974; WHO, 1980; Rai et al, 1981; Cesane et al, 1982; Vacheron, 1993; Babisch et al, 1993). Pelas razões acima a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1987), seguindo instruções da Organização Mundial da Saúde (OMS), recomenda o nível médio de 40dBA para hospitais, sala de aula, bibliotecas e residências. A OMS concluiu que o conforto auditivo termina acima de 50dBA e o estresse começa acima de 55dBA (WHO, 1980; Berglund & Lindvall, 1995)...”.

1.4 Implantação ideal da edificação

Caracterizados e avaliados os desempenhos luminoso, térmico, energético e acústico das distintas alternativas para implantação da edificação no terreno, o projetista dispõe dos parâmetros que deverão orientar a escolha final. O conjunto de parâmetros que deve ser considerado, é:

1. temperatura do ar no interior dos ambientes às 15h (verão e inverno) (ambientes sem condicionamento artificial) (Ti15h⁶);
2. percentagem das horas do dia nas quais a temperatura do ar interior permanece dentro do intervalo de conforto (verão e inverno) (ambientes sem condicionamento

⁶ A indicação “Ti15h” indica o critério em questão na tabela da figura 13.

Figura 12: Nível sonoro (dB(A)) nas quatro fachadas, nos pavimentos inferiores e superiores, decorrentes do tráfego local.

artificial) (%Tc);

3. profundidade do ambiente que pode dispensar o uso de iluminação artificial (“d”);

4. percentagem da área dos ambientes que dispensam iluminação artificial (%IN);

5. consumo de energia elétrica mensal (por m²) pelo sistema de iluminação artificial (kWh SIA);

6. consumo de energia elétrica mensal (por m²) que decorre do condicionamento artificial do ambiente (kWh AC);

7. consumo mensal de energia elétrica total (por m²) que decorre do sistema de condicionamento artificial e do sistema de iluminação artificial (kWh TOT);

8. nível sonoro na fachada decorrente do tráfego (NS).

Conhecidos os valores dos parâmetros acima, para azimutes compreendidos entre 0° e 345° (figura 13), é possível compará-los com os critérios de desempenho estabelecidos. Para alguns desses parâmetros, como no caso da temperatura de conforto do ar interior e nível sonoro, os critérios para avaliação das condições de conforto são limites recomendados em norma ou são consensuais no meio técnico, assim sendo podem ser adotados. Para os demais, sugere-se comparar os resultados obtidos para cada implantação e assumir o menor (ou maior) valor como ideal. Por exemplo:

– os resultados obtidos para consumo total de energia elétrica em um “ambiente tipo” da edificação variaram de 12 kWh/mês/m² a 30 kWh/mês/m² em função da implantação da edificação no terreno: neste caso, o valor de 12 kWh/mês/m² será tomado como referência, descrevendo assim o melhor desempenho. Já para o caso da profundidade “d” do ambiente que dispensa iluminação artificial, o maior valor de “d” será considerado “ideal”. Evidentemente, ao conhecer o conjunto dos resultados, o projetista poderá introduzir alterações no projeto arquitetônico para atingir o “melhor resultado” possível.

parâmetro de avaliação (ver texto item 1.4)	Azimute da Fachada (°)															
	0	30	60	90	120	150	180	180	180	210	240	270	300	330		
1	Ti15h	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2	% Tc	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
3	"d"	x	x	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
4	%IN	x	x	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
5	KWh SIA	x	x	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
6	KWh AC	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	x
7	KWh TOT	✓	x	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
8	NS	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓
número de critérios atendidos		4	1	1	1	5	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1

x	Não atende ao critério
✓	Atende ao critério

Figura 13: Exemplo do conjunto de resultados obtidos a partir da avaliação de desempenho de diferentes implantações de uma dada fachada da edificação no terreno. Com base nessas informações deve ser escolhida a implantação a ser adotada pelo projetista.

A título de exemplo, o quadro da figura 13 resume, para uma dada fachada sem obstruções no entorno, os resultados obtidos para os oito parâmetros de avaliação de desempenho em 14 (quatorze) alternativas de implantação da edificação no terreno. Na referida figura, pode-se observar que a opção de implantação “Norte” (azimute 0°) da fachada atende à quatro critérios, enquanto a implantação de azimute 120°, atende à cinco critérios. Assim sendo, a escolha do projetista deverá considerar:

- opção pelo condicionamento artificial: neste caso, a orientação “ideal” para a fachada em questão será 120°, uma vez que o consumo de energia elétrica será o mínimo (no conjunto dos azimutes) e o aspecto do ruído estará resolvido pelo fechamento das janelas;
- opção pela ventilação natural (sem ar condicionado): neste caso, a orientação “ideal” para a fachada em questão será 0° (norte), uma vez que a temperatura do ar interior dos ambientes estará dentro dos limites de conforto. Observar que o critério de conforto acústico (NS) está atendido, o que permitirá manter as janelas abertas.

Diante de tal cenário, caberá ao projetista fazer a escolha, considerando também outros aspectos que decorrem da implantação adotada, como acessos, características visuais do entorno, etc. Ao optar por qualquer alternativa de implantação, será possível estimar o desempenho da edificação para todos os parâmetros de desempenho, ou seja, o cliente poderá ser informado quanto:

- a temperatura do ar interior dos ambientes no verão;
- a necessidade de condicionamento artificial e custo estimado de energia elétrica decorrente;
- a área de piso que dispensará iluminação artificial durante 80% das horas do ano;
- o consumo de energia elétrica estimado decorrente do uso da iluminação artificial;
- o ruído gerado pelo tráfego local que atingirá as aberturas, se abertas.

TAO: uma metodologia para implantação de edificação

Márcia Peinado Alucci

Departamento de Tecnologia da FAUUSP 2007

No exemplo acima, foi analisada apenas uma fachada de uma edificação. A metodologia aqui proposta sugere a avaliação de dois ambientes por fachada (primeiro e último pavimento tipo), o que implica em 8 ambientes, que devem ser analisados para 24 alternativas de implantação (de 0° a 345°, a cada 15°).

Evidentemente tal tarefa só será viável com a utilização de um aplicativo. Uma proposta para esse aplicativo está descrita a seguir.

2. TAO 2007: o software

Para viabilizar a aplicação da metodologia acima descrita, que envolve uma quantidade expressiva de cálculos, foi desenvolvido um “software” que permite não só verificar em “tempo real” o impacto de cada decisão de projeto no desempenho da edificação, mas também obter um quadro geral para 24 alternativas de implantação da edificação no terreno. A seqüência de operações que o software realiza, assim como os dados de entrada e saída estão descritos a seguir.

Nota: A versão “beta” deste software (“TAO 2007”) está contida no CD que acompanha esta tese.

2.1 Estrutura do software

Uma vez acessado o software (figura 14), a segunda tela conduz o usuário à seqüência de operações ilustrada no esquema da figura 15.

2.1.1 Dados de entrada

2.1.1.1 Cidades:

Estão disponíveis 57 cidades brasileiras, com dados climáticos divulgados pelo DNM – Departamento Nacional de Meteorologia, período 1961-1990. Os dados de velocidade e direção de vento foram obtidos nas seguintes fontes:

- Energy Plus
- CPTEC
- LABEEE
- METEONORM
- CLIMATICUS

Nota: Para as cidades mencionadas abaixo não foram localizados dados de vento: Campos do Jordão, Conceição Araguaia Imperatriz, Imperatriz, Itaituba, João Pessoa, Juiz de Fora, Paulo Afonso, Tarauacá, AM, Tucuruí, Ubatuba.

Figura 14: Tela de abertura do software “TAO 2007” (versão beta).

Figura 15: Tela do software “TAO 2007” que descreve a seqüência de operações do programa.

2.1.1.2 Terreno e entorno

Como dados de entrada, são solicitados os seguintes dados:

- Dimensões do terreno (figura 16)
- Orientação do terreno (que deve ser indicada como ângulo no sentido horário, com relação ao eixo Norte/Sul da tela)
- Largura das calçadas e vias locais do entorno imediato do terreno
- Distância entre as obstruções do entorno e os limites do terreno (“a” na figura 17)
- Altura das obstruções
- Posição relativa das obstruções, considerando os limites do terreno, como mostra a figura 17.

Ao entrar com as informações acima o programa gera a planta da área do terreno e a localização das obstruções e vias locais como indica a figura 18.

2.1.1.3 Edifício/uso

Para o edifício, os dados de entrada são:

Nota: O usuário deve “adotar”, no seu projeto, uma das fachadas como sendo “fachada A” e associá-la inicialmente com a Via A e obstrução A. O esquema da figura 16 orienta a entrada de dados.

- Largura total de cada fachada (m)
- Cotas do primeiro e último “pavimentos tipo” (ver figura 19)
- Relação vazio cheio por fachada (%)
- % de área aberta na janela (para ventilação) natural
- Proteção solar exterior total nas fachadas (brise)
- Fator solar do vidro
- Cor da superfície externa dos vedos opacos
- Largura média das aberturas para iluminação (m)
- Largura média do ambiente tipo (m)
- Profundidade média dos ambientes tipo

Figura 16: Desenho esquemático que orienta o usuário na entrada de dados referentes às dimensões e orientação do terreno.

Figura 17: Desenho esquemático que orienta o usuário na entrada de dados referentes às dimensões e localização das obstruções.

- Duto para ventilação natural ou aberturas voltadas para átrio central (ou “shaft”) (sim ou não)

Nota: A escolha refere-se à intenção do arquiteto de utilizar o efeito chaminé como recurso de ventilação natural.

- Transmissão luminosa dos vidros
- Atividade principal a ser realizada nos ambientes
- Densidade de ocupação (m^2 /pessoa)
- Iluminância desejada no plano de trabalho (lux)

Com relação ao conjunto dos ambientes são solicitados os seguintes dados:

- Pé direito médio do andar tipo
- Temperatura de conforto com ar condicionado (verão)
- Temperatura de conforto com ar condicionado (inverno)
- Umidade relativa com ar condicionado (verão e inverno)
- Horário do início das atividades
- Horário do fim das atividades
- Número de dias no mês (com atividade)
- Uso da iluminação artificial (período integral ou só para complementar a iluminação natural?)
- Vedos verticais (com ou sem isolamento térmico?)
- Cobertura (com ou sem isolamento térmico?)
- Eficiência do sistema de ar condicionado

2.1.2 Procedimentos de avaliação

Com base nos dados fornecidos pelo usuário e descritos acima, o software “TAO 2007” executa as rotinas de cálculo baseadas nos procedimentos descritos no item 4 deste documento (Fundamentação Teórica). Para aplicação dos referidos procedimentos, optou-se por:

1. para cada uma das quatro fachadas, avaliar um “ambiente tipo” no primeiro “pavimento tipo” e um no último;

Figura 18: Localização do terreno e entorno gerado pelo programa a partir das informações do usuário.

Figura 19: Desenho esquemático que orienta a entrada de dados relativos às cotas do primeiro e último pavimentos tipo.

TAO: uma metodologia para implantação de edificação

Márcia Peinado Alucci

Departamento de Tecnologia da FAUUSP 2007

entrada de dados: edificação

fauusp depto de tecnologia labaut
 profa dra marcia peinado alucci
 são paulo 2006

Cidade São Paulo ▼

Altura total do edifício (H) (m)= **49,1 m**

Cota do primeiro pavimento tipo (Hi)= **10 m**

	dimensões das fachadas (comprimento)(m)	relação vazio cheio por fachada (WW/R)(%)	% de area aberta na janela (para ventilação natural)(%)	proteção solar exterior total nas fachadas (brise)	fator solar do vidro	cor da superfície externa parte	largura media das aberturas para iluminação (m)	largura media do ambiente (m)
Fachada A	20,1	70	50	não ▼	>=80% ▼	clara ▼	3,3	3,3
Fachada B	10	50	50	não ▼	>=80% ▼	clara ▼	3,3	3,3
Fachada C	20,1	50	50	não ▼	>=80% ▼	clara ▼	3,3	3,3
Fachada D	10	50	50	não ▼	>=80% ▼	clara ▼	3,3	3,3

Figura 20: Tela de entrada dos dados relativos ao edifício.

2. assumir que a alternativa “proteção solar total” (brise) nas aberturas implica na existência de um brise dimensionado para não permitir a incidência de sol no ambiente em nenhum horário do ano;
3. não considerar os ganhos de luz natural decorrentes da reflexão nas superfícies internas dos ambientes;
4. não considerar os ganhos de luz natural decorrentes da reflexão nas superfícies das obstruções do entorno;
5. não considerar a possibilidade de proteções internas (cortina, persiana, etc);
6. só considerar uma obstrução por fachada: no caso de duas ou mais obstruções o usuário deve identificar uma obstrução equivalente;
7. assumir que ambientes dotados de “duto” ou aberturas voltadas para um átrio central para permitir ventilação por efeito chaminé, dispõem de áreas de saída de ar com a mesma área que a área de entrada de ar;
8. calcular a potência do sistema de iluminação artificial (Pot) a partir do nível de iluminância (Ep) indicado pelo usuário do programa, utilizando a seguinte equação:
$$\text{Pot} = 0,039 * E_p + 5,08 (R2 = 0,93) \quad \text{Eq 46}$$
9. assumir que nos casos em que os critérios para avaliação de desempenho dos ambientes não tenham sido normalizados, o valor mínimo encontrado para o conjunto de azimutes pode ser considerado “ideal”;
10. assumir que vedos opacos verticais ou horizontais apresentam um coeficiente global de transmissão térmica de 2,3 W/m²K e 0,8 W/m²K, respectivamente sem e com isolamento térmico;
11. assumir que revestimentos considerados “escuras” apresentam um coeficiente de

absorção de 0,8 e aqueles considerados “médios” e “claros” apresentam coeficiente de absorção de 0,5 e 0,2 respectivamente;

12. não computar a possível absorção acústica dos materiais de revestimento dos ambientes internos, o que implica em limitar em 60dB(A) o nível sonoro aceitável que pode atingir a fachada da edificação.

Nota: As justificativas para as opções adotadas no desenvolvimento do software e listadas acima encontram-se no item 4 (“Fundamentação Teórica”).

2.1.3 Dados de saída

Basicamente, a utilização do software “**TAO 2007**” permite ao usuário:

- identificar em “tempo real” o impacto de alterações introduzidas no projeto arquitetônico e na implantação da edificação (tela “Dados de entrada: edificação”) no desempenho (térmico, acústico, luminoso e energético) da mesma (figura 21);
- acessar os resultados numéricos da avaliação de desempenho para os oito critérios (para as quatro fachadas), para situações de verão e inverno, na tela “Resumo dos resultados numéricos” (figura 22);
- acessar o “mapa” geral que indica o atendimento (ou não) de cada um dos oito critérios de desempenho para 24 opções de implantação da edificação no terreno (telas “Resultados da Avaliação: verão” e “Resultados da Avaliação: inverno”) (figura 23);
- identificar, resumidos em um único quadro, o conjunto de azimutes para todas as fachadas, que otimiza a implantação da edificação no terreno, (tela “Resumo dos resultados”) (figura 25);
- emitir um relatório com os resultados da avaliação.

TAO: uma metodologia para implantação de edificação

Márcia Peinado Alucci

Departamento de Tecnologia da FAUUSP 2007

Figura 2 I: Tela de entrada de dados que permite observar em tempo real o impacto da mudança de orientação da edificação e demais características do projeto no desempenho da mesma.

Resumo dos resultados numéricos

verão

primeiro pavimento

Critério	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	345
1	29,2	28,4	28,4	28,4	28,4	28,4	28,4	28,4	28,4	28,4	28,4	28,4	29,1	29,1	29,2	29,2	29,2	29,2	29,2	29,2	29,2	29,2	29,2	29,2
2	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0,5	0,8	0,5	0,5	0,5	0,5	0,8	1,3	1,8	1,8	2,0	2,3	2,3	2,0	1,5	1,3	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
4	10	15	10	10	10	10	15	25	35	35	40	45	45	40	30	25	20	10	10	10	10	10	10	10
5	4,4	4,1	4,4	4,4	4,4	4,4	4,1	3,7	3,2	3,2	2,9	2,7	2,7	2,9	3,4	3,7	3,9	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4
6	9,5	9,4	9,5	9,5	9,5	9,5	9,4	9,3	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2	9,1	9,2	9,3	9,3	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4
7	13,85	13,53	13,86	13,85	13,86	13,89	13,59	12,97	12,33	12,39	12,11	11,89	11,93	12,05	12,64	12,93	13,2	13,82	13,77	13,75	13,74	13,74	13,75	13,78
8	77	76	74	73	69	67	72	74	75	76	77	78	79	79	80	80	81	81	81	80	80	79	79	78

verão

primeiro pavimento

Critério	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	345	360	15	30	45	60	75
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

verão

primeiro pavimento

Critério	180	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	345	360	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165
1	28,3	28,5	28,8	29,1	29,3	29,4	29,5	29,5	29,4	29,3	29,1	28,8	28,5	28,3	28,3	28,3	28,3	28,3	28,3	28,3	28,3	28,3	28,3	
2	100	77,8	66,7	66,7	55,6	55,6	55,6	55,6	44,4	44,4	44,4	33,3	22,2	33,3	44,4	44,4	44,4	55,6	55,6	55,6	55,6	66,7	66,7	
3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
5	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9		
6	7,0	7,2	7,6	7,9	8,3	8,5	8,6	8,6	8,5	8,3	8,0	7,7	7,5	7,7	8,0	8,3	8,5	8,6	8,6	8,5	8,3	7,9	7,6	
7	11,9	12,1	12,4	12,8	13,1	13,3	13,4	13,5	13,4	13,2	12,9	12,6	12,4	12,6	12,9	13,2	13,4	13,5	13,4	13,3	13,1	12,8	12,4	
8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		

Figura 22: Tela descrevendo os resultados numéricos da aplicação dos procedimentos de cálculo para avaliação do desempenho térmico, acústico, luminoso e energético da edificação, em função da implantação da mesma no terreno.

Figura 23: Tela indicativa do conjunto dos resultados da avaliação de desempenho da edificação em função de 24 opções de implantação da mesma no terreno.

A verificação em “tempo real” do impacto das modificações introduzidas no projeto arquitetônico pode ser observada nos gráficos que acompanham a entrada de dados, como mostra a figura 21.

Observar no quadro da figura 22 que a indicação dos valores numéricos dos resultados das avaliações permite identificar quão críticos são esses valores, e portanto, avaliar quais outras implantações (azimutes) poderiam ser considerados aceitáveis.

Na figura 23, observar:

- os critérios assinalados em cor verde expressam o atendimento desses critérios;
- os critérios não atendidos são apresentados em cor vermelha;
- o número de critérios atendidos para cada azimuth, estão indicados em branco;
- os resultados indicados nos retângulos amarelos indicam os azimuthes que implicam em maior número de critérios atendidos;
- com base no número e tipo de critérios atendidos, o projetista poderá optar por uma ou outra implantação;
- uma vez escolhida uma implantação, é possível relatar quais critérios serão ou não atendidos;
- com base nos resultados apresentados nesse quadro, o usuário poderá voltar aos dados de entrada e introduzir alterações para obter melhores resultados;
- cada azimuth selecionado para a fachada A estará associado (automaticamente) ao valor do azimuth para as demais fachadas considerando a ortogonalidade das mesmas, ou seja, se o azimuth da fachada A é de 0° as fachadas B, C e D apresentarão azimuthes 90, 180 e 270°. Versões futuras do presente software

incluirão a possibilidade de avaliação de plantas com qualquer geometria (inclusive formas orgânicas).

Apesar da restrição mencionada acima, o usuário do programa poderá optar por alterações na planta que signifiquem otimizar todas as fachadas. Por exemplo, numa situação em que os resultados do quadro da figura 23, fossem:

Azimute ideal da fachada A = 0°

Azimute ideal da fachada B = 60°

Azimute ideal da fachada C = 180°

Azimute ideal da fachada D = 300° , esta composição de azimutes “ideais” poderia sugerir uma solução em planta com a geometria indicada na figura 24.

Observar que os diferentes azimutes são considerados ideais em função do tipo de atividade realizada no interior dos “ambientes tipos” e características da envoltória, como área de abertura, presença de proteção solar, abertura de ventilação, tipo de vidro, etc.

Cabe ressaltar, como já mencionado ao longo do presente texto, que a identificação dos azimutes ideais sugeridos pelo software “**TAO 2007**”, NÃO dispensa uma avaliação detalhada do desempenho térmico, acústico, luminoso e energético dos ambientes da edificação em questão.

2.2 Futuras versões

Futuras versões do software “**TAO 2007**”, poderão incluir:

- a possibilidade do usuário inserir novas cidades;
- a possibilidade de avaliação de edificações com formas orgânicas (geometrias não convencionais);
- parâmetros que permitam avaliar os aspectos de custos associados à diferentes soluções arquitetônicas;
- recursos que permitam a entrada do projeto arquitetônico e entorno, em CAD (software de desenho).

Figura 24: Os azimutes ideais podem sugerir uma alternativa de planta que otimiza todas as fachadas.

Resumo dos resultados

fausp - depto de tecnologia - labaut
profa dra marcia peinado alucci
são paulo 2006

Fachada A

azimute	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	345
primeiro pavimento	verão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	165	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	inverno	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	165	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
pavimento superior	verão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	165	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	inverno	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	165	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fachada B

azimute	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	345	360	15	30	45	60	75
primeiro pavimento	verão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75
	inverno	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75
pavimento superior	verão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75
	inverno	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75

Fachada C

azimute	180	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	345	360	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165
primeiro pavimento	verão	180	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	inverno	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
pavimento superior	verão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	inverno	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fachada D

azimute	270	285	300	315	330	345	360	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225	240	255
primeiro pavimento	verão	270	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	255
	inverno	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
pavimento superior	verão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	inverno	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Figura 25: Tela do software “TAO 2007” que reúne o conjunto de azimutes ideais por fachada da edificação em estudo.

3.0 Aplicação do “TAO 2007”: estudo de caso

A título de ilustração está descrito a seguir o resultado da utilização do software “TAO 2007”, no caso de um projeto arquitetônico⁷ destinado à atividade típica de escritório, a ser implantado em São Paulo. Considerando o aspecto didático do presente capítulo, o terreno original (localizado no Tatuapé – São Paulo) foi substituído pelo terreno localizado na Avenida Nações Unidas (marginal do Rio Pinheiros) (foto da figura 31), o que permitiu uma avaliação mais rica das possibilidades de implantação da edificação no terreno, devido à importância do ambiente sonoro local.

3.1 Dados de entrada

3.1.1 Características climáticas da cidade de São Paulo

As características climáticas da cidade de São Paulo, adotadas na presente avaliação, estão resumidas nas figuras 26 a 30.

3.1.2 Terreno e entorno

O terreno escolhido, localizado na marginal do Rio Pinheiros (Avenida das Nações Unidas) está indicado nas figuras 31 e 32. As obstruções do entorno imediato do terreno se caracterizam por alturas não superiores a 7 m. Dessa forma, considerando que o primeiro “pavimento tipo” do edifício em estudo localiza-se a 10 m do piso (ver fig. 34), devem ser consideradas as obstruções com altura superior a 7 m. A obstrução que atende essas condições, no caso o edifício Passareli, está indicada nas figuras 31 e 32.

Os dados de entrada para o terreno e entorno são:

- Azimute do terreno = 20° (observar que a localização do Norte do terreno deve ser feita em relação ao eixo NS da tela do software) (figura 32).
- Largura do terreno (lado A) = 55 m
- Comprimento do terreno (lado B) = 75 m
- Largura da calçada A = 56 m

⁷ Projeto arquitetônico desenvolvido pelo arquiteto Antonio Gil Andrade

Figura 26: Variação horária da temperatura e umidade relativa do ar da cidade de São Paulo, no mês mais quente (fevereiro). (fonte: climaticus)

Figura 27: Variação horária da temperatura e umidade relativa do ar da cidade de São Paulo, no mês mais frio (julho). (fonte: climaticus)

Nota: Observar que as edificações que foram “desprezadas” por terem menos de 10 m de altura se comportarão, para efeito da entrada de dados no software, como uma calçada equivalente.

- Largura da calçada B = 65 m (figura 32)
- Largura da calçada C = 0 (sem pista C)
- Largura da calçada D = 3 m

Vias de tráfego

- Largura da via A = 7,5 m
- Largura da via B = 7,5 m
- Largura da via C = 0
- Largura da via D = 200 m (foto da figura 31)

Nota: A contribuição do tráfego das duas marginais (direita e esquerda do Rio Pinheiros), segundo valores da CET (Companhia Estadual de Trânsito de São Paulo)⁸, é:

- pista direita (Interlagos-Jaguarié): 6900 veículos/hora (período 6h às 20h)
- pista esquerda (Jaguarié-Interlagos): 10000 veículos/hora (período 6h às 20h)

Para a determinação do Nível Sonoro na face externa das fachadas, o software em questão adota:

- que o fluxo total de veículos é de 16900 veículos/h (6900+10000) e flui no eixo central de uma pista virtual de largura 200 m (ver foto figura 31)

Ressalte-se que o cálculo do nível sonoro nas fachadas também poderia ser realizado a partir da soma dos níveis sonoros determinados separadamente para cada marginal. Neste caso ter-se-ia:

- nível sonoro devido à marginal “Interlagos-Jaguarié” = 73 dB(A) (largura de pista de 40 m, calçada 3 m e 6900 veículos)

⁸ Informações obtidas pelo mestrando Ovídio(2006) para desenvolvimento da dissertação.

Figura 28: Distribuição mensal da direção do vento em São Paulo (primeira predominância)] (fonte: climaticus)

Figura 29: Distribuição mensal da velocidade do vento em São Paulo (primeira predominância) (fonte: climaticus)

- nível sonoro devido à marginal “Jaguaré-Interlagos” = 75 dB(A) (largura de pista de 40 m, calçada de 200 m e 6900 veículos)
- soma logarítmica dos dois níveis anteriores = 77 dB(A)

Este valor de 77dB(A), resultante da soma das duas fontes de ruído é o mesmo valor encontrado para a hipótese de 16900 veíc/hora fluindo no eixo da pista equivalente de 200 m (ver figura 31).

Os dados de entrada no software que caracterizam o sistema viário e o tráfego estão indicados na figura 33.

- Altura da obstrução A = 50 m (ver figura 30 e 31)
- Profundidade da obstrução A = 35 m
- Distância da obstrução A até limite do terreno = 76 m
- Localização da obstrução A em relação ao terreno:
- $d = 7$ m
- $e = -25$ m (observar que a entrada do dado recebe sinal negativo devido ao alinhamento da obstrução com o terreno) (figura 17)

Nota: Não são significativas as demais obstruções do entorno do terreno, uma vez que o primeiro “pavimento tipo” encontra-se a 10 m do piso.

Com a entrada dos dados acima o software gerará o desenho da figura 33.

3.1.3 Projeto arquitetônico

As principais características do projeto arquitetônico a ser implantado no terreno acima descrito estão indicadas nas figuras 35 e 36 .

Os dados de entrada no software relativos à edificação (dimensões, usos e características construtivas), estão reunidas nas figuras 37 (a) e 37(b).

Figura 30: Totais de irradiação solar nos componente verticais acumulados durante um dia típico de verão e inverno.

Figura 31: Foto aérea do terreno utilizado para aplicação do software “TAO 2007”.

3.2 Dados de saída: a implantação ideal

A análise dos resultados fornecidos pelo software deve ser feita cuidadosamente, uma vez que valores de azimuth indicados como “ideais” podem ser abandonados em função das escolhas feitas pelo projetista.

Para o projeto que está sendo analisado, o quadro da figura 38, que reproduz a tela “resumo dos resultados”, indica que a orientação (azimute) 165° para a fachada A (escritórios) é a mais adequada para os pavimentos superiores e inferiores e para situações de verão e inverno.

Observar na tela de saída dos resultados representada na Figura 39, para azimutes compreendidos entre 15° e 165° os ambientes da fachada A dispensariam o condicionamento artificial. No entanto, o nível sonoro resultante nessas orientações seriam superiores a 50 dB(A) (ver figura 40)⁹, o que inviabilizaria a abertura das janelas. Neste caso, poderiam ser buscadas soluções de aberturas para ventilação que promovessem a absorção do ruído (tipo “chicana”). Ressalte-se que esse recurso precisaria promover a mesma taxa efetiva de ventilação natural do projeto atual para permitir condições de conforto térmico dos usuários.

Se a prioridade do projetista for o conforto acústico dos usuários, com condicionamento artificial, a orientação da fachada A para 165° representaria o menor consumo de energia elétrica (critério número 7): 11,9 kWh/mês/m².

Ao orientar a fachada A para 165° , automaticamente a fachada C (circulação) teria azimuth de 345° . Para verificar a conveniência de tal orientação para a fachada C, deve ser consultado o quadro da figura 40 (tela: resumo dos resultados numéricos), que indica:

- que a temperatura do ar interior da área destinada à circulação é de $28,8^\circ\text{C}$ na hora mais quente em dia de verão, valor que pode ser considerado aceitável;

⁹ Observar que a indicação de atendimento do critério 8 (Nível Sonoro) para azimuth de 75° significa que essa é a orientação onde o nível sonoro é o mínimo, o que não implica que o usuário estará em conforto acústico. Os resultados da figura 39 devem sempre ser comparados com os resultados da fig 40, onde estão apontados os valores numéricos da avaliação.

Figura 32: Indicação da área do terreno, obstrução equivalente e vias do entorno que contribuem com ruído gerado pelo tráfego local.

Figura 33: Desenho gerado pelo software “TAO 2007” indicando a implantação do terreno, orientação, direção dos ventos, calçadas e vias do entorno do terreno.

vias e tráfego		número de veículos	inclinação da pista (%)	velocidade média (m/s)	% de veículos pesados
tipo de via					
via A	expressa/±4.000 veic/h ▼	500	0	70	30
via B	sem via ▼	500	0	70	35
via C	sem via ▼	0	0	0	0
via D	expressa/±10.000 veic/h ▼	16900	0	80	30

Figura 34: Dados de entrada para caracterização do tráfego local

Figura 35: Planta do andar tipo da edificação a ser implantada no terreno.

Figura 36: Elevação da edificação a ser implantada no terreno

Cidade

Altura total do edifício (H) (m)= 49,1 m
Cota do primeiro pavimento tipo (Hi)= 10 m
Cota do último pavimento tipo (Hs)= 41,6 m
pé direito médio do andar tipo = 3,15 m
temperatura de conforto com ar condicionado verão = 24 °C
temperatura ar condicionado inverno= 18 °C
umidade relativa com ar condicionado= 45 %
início das atividades: 8 horas
fim das atividades: 17 horas
dias/mês= 22 dias/mes
iluminação artificial é usada período integral?
vedos verticais horizontais=
cobertura=
eficiência do sistema de ar condicionado= 0,75

Figura 37(a): Dados de entrada do software TAO que caracterizam as dimensões e uso dos ambientes da edificação

	dimensões das fachadas (comprimento) (m)	relação vazio cheio por fachada (WW/R)(%)	% de área aberta na janela (para ventilação natural)(%)	proteção solar exterior total nas fachadas (brise)
Fachada A	20,1	70	50	não
Fachada B	10	50	50	não
Fachada C	20,1	50	50	não
Fachada D	10	50	50	não

fator solar do vidro	cor da superfície externa parte	largura média das aberturas para iluminação (m)	largura média do ambiente (m)	profundidade e média dos ambientes tipo
>=80%	clara	3,3	3,3	4
>=80%	clara	3,3	3,3	4
>=80%	clara	3,3	3,3	4
>=80%	clara	3,3	3,3	4

duto para ventilação natural ou atrium central	Transmissão luminosa do vidro	Atividade principal	densidade de ocupação (m²/pes)	iluminância no plano de trabalho (lux)
não	>=80%	escritório	4	500
não	>=80%	escritório	4	500
não	>=80%	escritório	4	500
não	>=80%	escritório	4	500

Figura 37(b): Dados de entrada para caracterização das fachadas da edificação a ser implantada

Resumo dos resultados

fausp - depto de tecnologia - labaut

profa dra marcia peinado alucci

são paulo 2006

Fachada A

azimute	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	345
primeiro pavimento	verão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	165	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	inverno	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	165	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
pavimento superior	verão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	165	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	inverno	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	165	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fachada B

azimute	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	345	360	15	30	45	60	75
primeiro pavimento	verão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75
	inverno	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75
pavimento superior	verão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75
	inverno	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75

Fachada C

azimute	180	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	345	360	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165
primeiro pavimento	verão	180	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	inverno	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
pavimento superior	verão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	inverno	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fachada D

azimute	270	285	300	315	330	345	360	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225	240	255
primeiro pavimento	verão	270	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	255
	inverno	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
pavimento superior	verão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	inverno	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Figura 38: Tela “resumo dos resultados” com indicação dos azimutes ideais para dois pavimentos por fachada (quatro fachadas), para verão e inverno.

Fachadas	Critérios	Azimutes																								
A escritório		0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	345	
	1	N	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
	2	N	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
	3	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
	4	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
	5	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
	6	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
	7	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
	8	N	N	N	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
n° de critérios atendidos		0 2 2 2 2 3 2 2 2 2 2 2 6 3 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0																								
azimutes recomendados		- - - - - - - - - - - 165 - - - - - - - - - - - - - - - -																								
B nenhum ambiente		90	105	120	135	150	165	180	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	345	360	15	30	45	60	75	
	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
n° de critérios atendidos		- -																								
azimutes recomendados		- -																								
C circulação		180	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	345	360	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	
	1	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	
	2	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	
	3	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	
	4	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	
	5	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	
	6	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	
	7	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	
	8	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	
n° de critérios atendidos		6 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3																								
azimutes recomendados		180 -																								
D nenhum ambiente		270	285	300	315	330	345	360	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225	240	255	
	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
n° de critérios atendidos		- -																								
azimutes recomendados		- -																								

Figura 39: Exemplo de tela de apresentação dos resultados da avaliação com indicação dos critérios de desempenho atendidos para as quatro fachadas, para 24 possibilidades de azimute.

tao

Resumo dos resultados numéricos

verão

Critério

primeiro pavimento

0153045607590105120135150165180195210225240255270285300315330345

129,228,428,428,428,428,428,428,428,428,428,428,428,429,129,129,229,229,229,229,229,229,229,229,229,229,2

201001001001001001001001001001001001001000

Figura 40: Exemplo da tela “resumo dos resultados numéricos”, onde os valores podem ser comparados para os vários azimutes e orientar na escolha de uma implantação mais adequada para a edificação.

- que o consumo de energia elétrica para iluminação artificial independe da orientação, uma vez que não foram previstas aberturas nessa fachada;
- no caso de condicionamento artificial, o consumo de energia supera em 10% o valor mínimo que seria de 7 kWh/mês/m² se o azimuth fosse 180°;
- o nível sonoro de 78 dB(A) não se apresenta como um problema, uma vez que não existem aberturas nessa fachada.

Considerando que a decisão final para implantação da edificação no terreno deverá considerar outros aspectos além daqueles tratados no software, como recuo, visuais, acesso, etc, será possível identificar as consequências de qualquer decisão utilizando os resultados da tela da figura 40 (resumo numérico dos resultados).

3.2.1 Otimização do projeto arquitetônico

No caso do projeto arquitetônico em avaliação, a área de circulação (fachada C) não inclui aberturas que permitam a ventilação e a iluminação natural. Os valores para temperatura do ar estimados nessa área de circulação seriam aqueles indicados na figura 41, considerando que o azimuth dessa fachada é de 345°.

Incluindo-se uma abertura iluminante (com proteção solar) que representasse uma relação WWR de 10% e a mesma taxa (10%) para ventilação natural, os novos resultados para a temperatura do ar na circulação (fachada C), no verão, seriam aqueles descritos na figura 42.

Além da redução da temperatura do ar na área de circulação, a abertura na fachada C implicaria na redução do consumo de energia elétrica para iluminação artificial, como indica a figura 43.

Ressalte-se que a abertura na fachada C deverá receber proteção solar, caso contrário a temperatura do ar na circulação atingiria 30°C

Figura 41: Variação horária da temperatura do ar interior na área de circulação (fachada C, azimuth 345°) conforme projeto original: sem abertura de ventilação.

Figura 42: Temperatura do ar interior na área de circulação (fachada C, azimuth 345°), com abertura de ventilação e proteção solar (brise).

Outras alterações (além de aberturas na fachada C) podem ser introduzidas e avaliadas no projeto arquitetônico “em tempo real”, como por exemplo:

- o impacto da cor dos revestimentos externos no desempenho térmico e energético dos ambientes;
- o efeito do tipo de vidro (tanto no desempenho energético como no desempenho luminoso);
- o impacto, no consumo de energia elétrica pelo sistema de ar condicionado, quando a temperatura de conforto é alterada.

A avaliação das distintas alternativas de projeto (como as listadas acima), além da identificação da orientação “ideal” da edificação no terreno, pode ser integrada ao memorial descritivo do projeto, o que contribuirá para demonstrar a solidez das decisões.

Figura 43: Estimativa do consumo de energia elétrica pelo sistema de iluminação artificial, na área destinada à circulação (fachada C), em duas hipóteses: fachada cega e fachada com abertura.

4. Fundamentação teórica

A base teórica para desenvolvimento da presente metodologia (**TAO**) levou em consideração os métodos de cálculo tradicionais e consolidados de avaliação de desempenho térmico, acústico, luminoso e energético de uma edificação. A inovação da presente metodologia está na abordagem interativa dos quatro aspectos. Dessa forma, a base teórica de cada um dos aspectos específicos¹⁰ não está exaustivamente tratada neste trabalho: estão apresentados e detalhados os métodos utilizados na aplicação da metodologia (**TAO**) e as hipóteses para aplicação dos cálculos específicos.

Apesar da adoção de métodos de cálculo já normalizados (nacional ou internacional), em alguns casos foram introduzidas alterações, sempre justificadas, e que, na grande maioria das vezes são produto da experiência (da pesquisadora) ao longo de 35 anos de atuação nas respectivas áreas. Talvez algumas inferências possam parecer inadequadas, mas também poderão gerar questionamentos que estimularão a definição de novas abordagens para o desenvolvimento e avaliação de projetos arquitetônicos.

Na estruturação da metodologia aqui proposta, diferentemente da metodologia clássica¹¹ de “avaliação de desempenho”, além dos “critérios de desempenho”, foram elaborados “parâmetros de avaliação de desempenho”, que expressam a variável utilizada para comparar várias opções de implantação da edificação no terreno. Por exemplo: no caso do desempenho luminoso, o critério seria o nível de iluminância (lux) e o parâmetro de avaliação, a profundidade da sala onde a iluminação natural é suficiente.

4.1 Desempenho luminoso

O desempenho luminoso (natural) de uma edificação é basicamente função do aporte de luz (céu+sol) nas aberturas. Classicamente, afirmar que o desempenho luminoso de uma edificação é satisfatório significa que os níveis de iluminância (em lux) são adequados para a realização das tarefas a serem realizadas no ambiente.

¹⁰ Para aspectos específicos dos procedimentos de cálculo, estão indicadas as referências bibliográficas.

¹¹ A metodologia clássica de avaliação de desempenho pressupõe a definição de: exigências humanas, requisitos, critérios e métodos de avaliação.

Níveis “adequados” são objeto de Norma em praticamente todo o mundo¹², inclusive no Brasil (NBR 5413 (1982)). No entanto, tais Normas são elaboradas para iluminação artificial¹², o que sugere a necessidade de um esforço concentrado, particularmente no Brasil, no desenvolvimento de pesquisas que indiquem níveis adequados quando os ambientes tem potencial para utilizar a luz natural.

Ressalte-se aqui duas questões fundamentais:

- o desempenho luminoso satisfatório pressupõe, além de níveis mínimos de iluminância no plano de trabalho, homogeneidade na distribuição e ausência de ofuscamento;
- qualquer método de avaliação de desempenho da iluminação natural de um ambiente deverá, necessariamente contemplar a interação com a iluminação artificial e o controle do sol direto nos planos de trabalho.

Poder-se-ia acrescentar à tais questões os aspectos da “qualidade luminosa” de um ambiente, ou seja, os aspectos que envolvem luz e sombra e impacto psicológico da “cor da luz” ambiente nos usuários. Reunidos todos esses aspectos, estaríamos falando da Arquitetura!!

As pesquisas mais freqüentes que abordam tais temas vêm ocorrendo de modo pontual: ou tratam de medidas de nível de iluminância (modelo em escala reduzida ou modelo em escala real) ou tratam do impacto da cor, esta última com metodologias subjetivas cujos resultados não são extrapoláveis.

4.1.1 Critérios de avaliação

No que se refere à metodologia proposta no presente trabalho, a avaliação do desempenho luminoso da edificação considera que o nível de iluminância (iluminação

¹² Alguns países já possuem Normas voltadas para a iluminação natural, como é o caso da DIN5034 (1982) – Luz Natural de Interiores; BSI DD(1982): Basic Data for the Design of Buildings: Daylight; BSI DD 63 (1980): Basic Data for Design of Buildings: Sunlight.

natural) no plano de trabalho “deve” ser 60%¹³ do valor estabelecido para ambientes iluminados artificialmente. Assim, se o ambiente se destina à atividades típicas escritório, pela NBR 5413, o nível recomendado seria de 500 lux (iluminação artificial): o nível de iluminância para iluminação com luz natural será de 300 lux.

Considerando que o objetivo da presente metodologia (**TAO**) é a busca da implantação da edificação no terreno que otimiza os aspectos de conforto luminoso, térmico, acústico e energético, não são objeto da mesma a avaliação do desconforto causado por ofuscamento ou incidência direta do sol no plano de trabalho, mesmo porque a presença de proteção solar na aberturas é um dos elementos que otimiza o desempenho térmico e a eficiência energética da edificação.

4.1.2 Parâmetros de avaliação

Os parâmetros selecionados para a caracterização do desempenho luminoso da edificação são:

- a distancia crítica “d” (profundidade) entre o plano da abertura e um ponto do ambiente que atinge o valor mínimo de iluminância desejado (fig 44), e
- o valor estimado do consumo de energia elétrica para complementação da iluminação natural.

Para cada fachada do pavimento tipo, com base na distancia crítica “d”, pode ser determinada a percentagem da área de cada uma das fachadas que, durante 80% das horas do ano (período entre 8h e 17h) pode atingir o nível de iluminância requerido (fig 45). O consumo de energia elétrica para complementar a iluminação natural com a iluminação artificial pode ser estimado com base na mesma distância crítica “d” e considerando a densidade de potência instalada (sistema de lâmpadas e luminárias).

Os itens que seguem descrevem a metodologia para cálculo desses dois parâmetros (“d” e consumo de energia).

¹³ Esta é uma recomendação da Norma DIN 5034 (1982) e consta da NBR 15215-2 (2003)

Figura 44: Distância crítica “d” onde a iluminância atinge o valor desejado (por exemplo, 400 lux).

Figura 45: % da área do piso correspondente a uma dada fachada que pode ser resolvida com iluminação natural, durante 80% das horas do ano.

4.1.2.1 Determinação da distância crítica (“d”)

Para o cálculo de “d” devem ser determinados os valores horários/mensais da iluminância (klux) no plano da fachada, decorrente da contribuição da abóbada celeste (céu) e do sol, consideradas as obstruções do entorno e a presença de proteções solares (brise).

O valor da iluminância (em lux) em uma dada fachada depende do tipo de céu característico da cidade em questão. A NBR 15215-2 (2003) classifica os tipos de céu em função da nebulosidade, conforme tabela 1.

No Brasil, valores médios anuais de nebulosidade em 57 cidades divulgados pelo INMET para o período de 1961 a 1990 (RB) indicam que 93,1% apresentam nebulosidade entre 3 e 8%, o que define a predominância do céu tipo parcialmente encoberto no território nacional (figura 46).

4.1.2.1.1 Iluminância no plano da fachada: contribuição do céu

A contribuição do céu, para um céu parcialmente encoberto, segundo a NBR15215-2, deve ser determinada por:

$$E_{cv} = E_{ch} * V \quad (\text{klux}) \quad \text{eq 1}$$

Sendo

E_{cv}a iluminância (klux) no plano da fachada (plano vertical)

E_{ch}..... a iluminância (klux) em plano horizontal, calculada por:

$$E_{ch} = 0,30 * 45 * \sin \hat{\alpha} \quad (\text{klux}) \quad \text{eq 2}$$

Nota:A presença de obstruções no entorno deverá alterar o valor de E_{ch} calculado pela equação 2, como indicado posteriormente.

Tipo de céu	% de área do céu com nuvens
claro	<3%
parcialmente encoberto	3 a 8%
encoberto	>8%

Tabela 1: Classificação do tipo de céu em função da nebulosidade, proposta pela NBR 15215-2 (2003)

Figura 46: Distribuição da frequência de ocorrência de nebulosidade em 57 cidades brasileiras

V fator de conversão, função da altura do sol e da distância entre azimute do sol e azimute da fachada conforme indicado na tabela 2 ou a partir das equações:

$$\text{azsol}-\text{Azj} \leq 30 \quad V = (2 \cdot 10^{-5}) \cdot (\hat{i}^2) - 0,0187 \cdot \hat{i} + 1,85 \quad \text{eq 3}$$

$$30 < \text{Azs}-\text{Azj} \leq 45 \quad V = (2 \cdot 10^{-5}) \cdot \hat{i}^2 - 0,0143 \cdot \hat{i} + 1,4407 \quad \text{eq 4}$$

$$45 < \text{Azs}-\text{Azj} \leq 60 \quad V = (3 \cdot 10^{-5}) \cdot \hat{i}^2 - 0,0114 \cdot \hat{i} + 1,1829 \quad \text{eq 5}$$

$$60 < \text{Azs}-\text{Azj} \leq 75 \quad V = (3 \cdot 10^{-5}) \cdot \hat{i}^2 - 0,0064 \cdot \hat{i} + 0,6824 \quad \text{eq 6}$$

$$75 < \text{Azs}-\text{Azj} \leq 90 \quad V = (3 \cdot 10^{-5}) \cdot \hat{i}^2 - 0,0086 \cdot \hat{i} + 0,9098 \quad \text{eq 7}$$

$$\text{Azs}-\text{Azj} > 90 \quad V = (6 \cdot 10^{-5}) \cdot \hat{i}^2 - 0,0065 \cdot \hat{i} + 0,4633 \quad \text{eq 8}$$

Sendo

Azs = azimute do sol (°)

Azj = azimute da fachada (°)

$\hat{i}$ = ângulo de altura solar (°)

Observar na Figura 47, a título de exemplo, valores de iluminância em plano horizontal e vertical para o mês de março, em São Paulo, em uma fachada Norte, como contribuição da abóbada celeste.

4.1.2.1.2 Iluminância no plano da fachada: contribuição do sol

O dimensionamento da contribuição do sol no plano vertical da fachada, para um céu parcialmente encoberto, deve ser calculado, segundo a NBR 15215-2 (2003), com a seguinte equação:

$$\text{Esv} = \text{Esn} \cdot \cos \beta \quad (\text{klux}) \quad \text{eq 9}$$

Figura 47: Distribuição horária da iluminância em plano horizontal e vertical, no mês de março, em São Paulo, para uma fachada Norte, como contribuição do céu, considerando céu parcialmente encoberto.

γ_s	azimute do sol - azimute de elevação													
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°	180°	
0°	1.76	1.71	1.58	1.38	1.14	0.89	0.68	0.55	0.49	0.47	0.46	0.46	0.46	
15°	1.70	1.66	1.53	1.32	1.08	0.82	0.60	0.47	0.40	0.37	0.36	0.36	0.36	
30°	1.35	1.32	1.22	1.06	0.88	0.68	0.52	0.41	0.35	0.32	0.31	0.30	0.30	
45°	1.01	0.99	0.92	0.82	0.70	0.57	0.46	0.38	0.33	0.30	0.28	0.28	0.27	
60°	0.74	0.73	0.69	0.63	0.56	0.49	0.42	0.37	0.33	0.30	0.29	0.28	0.28	
75°	0.53	0.53	0.51	0.49	0.46	0.43	0.40	0.37	0.35	0.33	0.32	0.31	0.31	
90°	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	

Tabela 2: Valores do fator de conversão V para cálculo da iluminância em plano vertical (contribuição da abóbada celeste) (extraída de NBR 15215-2 (2003))

Sendo

E_{sv} = iluminância no plano da fachada

E_{sn} = iluminância no plano normal à incidência do sol

β o ângulo de incidência do sol, calculado por:

$$\beta = a \cos(\cos(i) * \cos(\alpha_z)) \quad \text{eq 10}$$

$$\alpha_z = Azs - Azj \quad \text{eq 11}$$

$\hat{I}$ = ângulo de altura solar

Azs = ângulo de azimuth do sol

Azj = ângulo de azimuth da fachada

$$E_{sn} = E_{ext} * \exp(0,80 * m) \quad \text{eq 12}$$

E_{ext} = iluminância solar extra terrestre, calculada por:

$$E_{ext} = 127500 * (1 + 0,034 * \cos(0,986 * j - 1,973)) \quad \text{eq 13}$$

m = a massa solar ótica, calculada por:

$$m = 1 / \sin(\hat{I}) \quad \text{eq 14}$$

O gráfico da figura 48 indica valores de iluminância em plano vertical de uma fachada Norte (em São Paulo) como contribuição do sol, considerando céu parcialmente encoberto.

Como regra geral, o estudo da iluminação natural de ambientes despreza a contribuição do sol, uma vez que a presença do mesmo é, em geral, indesejada. No entanto, para efeito da presente metodologia, foram considerados como determinantes os seguintes aspectos:

Figura 48: Distribuição horária da iluminância em plano horizontal e vertical, no mês de março, em São Paulo, para uma fachada Norte, como contribuição do sol em céu parcialmente encoberto.

Figura 49: Distribuição horária da iluminância em plano vertical, no mês de março, em São Paulo, para uma fachada Leste, como contribuição do sol e céu, considerando céu tipo parcialmente encoberto.

- na prática, a incidência do sol contribui efetivamente para o cálculo da iluminância no interior dos ambientes, especialmente considerando-se que o usuário sempre terá o recurso de utilizar alguma proteção interna;
- a presença de um brise (proteção solar externa) na edificação interfere decididamente no ganho de luz natural, não só evitando o sol direto, como reduzindo a contribuição do céu.

Acrescente-se a tais aspectos, que a decisão de inclusão do brise numa edificação decorre freqüentemente da necessidade de reduzir a carga térmica incidente no ambiente, melhorando as condições de conforto do usuário e reduzindo significativamente o consumo de energia elétrica pelo sistema de condicionamento artificial. Dessa forma, a metodologia proposta (**TAO**) inclui o efeito do sol no cálculo da iluminação, uma vez que, a implantação ótima da edificação no terreno é função direta da presença ou ausência das proteções solares (brises).

Na figura 49 pode-se observar o impacto na disponibilidade de luz natural em uma fachada de azimuth 90° (Leste) quando no cálculo da iluminância considera apenas a contribuição do sol. Observar que a contribuição do sol é expressiva.

Uma vez calculados os valores de E_{cv} (contribuição do céu na fachada) e E_{sv} (contribuição do sol na fachada) para o período das 5h às 19h, para todos os meses do ano, deve ser determinado o valor da iluminância total (E) na fachada ($E = E_{cv} + E_{sv}$) que ocorre pelo menos 80% das horas do ano. Denominando tal valor de “E (80%)”, esta será a referência para o cálculo da distancia critica “d” passível de utilizar a iluminação natural.

A figura 50 indica, a título de exemplo, para uma fachada Norte em São Paulo, a distribuição horária da iluminância no plano da fachada, ao longo do ano.

A figura 51 exemplifica a freqüência de ocorrência de distintos valores de $E = E_{cv} + E_{sv}$, para uma fachada Norte, na cidade de São Paulo. Nessa mesma figura

	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
5	175	175	175	344	344	258	344	344	175	175	175	175
6	3280	3280	3280	344	258	258	258	344	3280	3280	3280	3280
7	5826	5240	9261	5407	5570	5636	5570	5407	9261	5240	5826	5996
8	8022	16327	19173	15294	18129	15882	18129	15294	19173	16327	8022	8121
9	9805	22691	24655	35460	33362	31409	33362	35460	24655	22691	9805	9877
10	19835	23754	40451	48615	48610	47312	48610	48615	40451	23754	19835	11720
11	21196	33140	45446	59821	61864	61205	61864	59821	45446	33140	21196	13928
12	20030	34362	50454	60922	63799	63434	63799	60922	50454	34362	20030	16502
13	21196	33140	45446	59821	61864	61205	61864	59821	45446	33140	21196	13928
14	19835	23754	40451	48615	48610	47312	48610	48615	40451	23754	19835	11720
15	9805	22691	24655	35460	33362	31409	33362	35460	24655	22691	9805	9877
16	8022	16327	19173	15294	18129	15882	18129	15294	19173	16327	8022	8121
17	5826	5240	9261	5407	5570	5636	5570	5407	9261	5240	5826	5996
18	3280	3280	3280	344	258	258	258	344	3280	3280	3280	3280
19	175	175	175	344	344	258	344	344	175	175	175	175

Figura 50: Distribuição horária, ao longo do ano, da iluminância no plano de uma fachada Norte, em São Paulo. Os valores assinalados em verde indicam que os mesmos são iguais ou superiores a 10000 lux (valor que ocorre 80% das horas do ano)

Figura 51: Freqüência de ocorrência dos valores iluminância no plano de uma fachada Norte, em São Paulo.

é possível verificar que, ao longo do ano, no período das 8h às 17h, a frequência de ocorrência 80% corresponde ao valor 10000 lux.

Uma vez calculado o valor total da iluminância na fachada, no âmbito da metodologia aqui proposta, esse valor representaria a contribuição de metade de um “céu uniforme equivalente”, ou seja, se o valor da iluminância na fachada é de 10000 lux, ter-se-ia 20000 lux no plano horizontal desobstruído. Esta hipótese mostrou-se adequada na medida em que é possível identificar a oferta de luz para cada fachada, em função da sua orientação. Daí a importância de não se adotar a iluminância no plano horizontal.

4.1.2.1.3 Correção na contribuição do céu devido às obstruções do entorno

O total da iluminância disponível em qualquer fachada é função de tanto das obstruções do entorno como da presença de proteções solares externas (brise). No caso da contribuição da abóbada celeste, as obstruções podem ser caracterizadas pelo fator “FOC”¹⁴ – fator de obstrução do céu. Esse fator é função da geometria da obstrução – largura, altura e posição relativa no terreno (ver figuras 52, 53 e 54) e deve ser determinado por:

$$FOC = FOC_d + FOC_e \text{ (adimensional) eq 15}$$

FOC_d é o fator de obstrução à direita da normal entre o ponto P e a obstrução

FOC_e é o fator de obstrução à esquerda da normal entre o ponto P e a obstrução

Nota: O ponto P deve ser tomado no centro geométrico da abertura a ser analisada. No caso da presente metodologia, para caracterizar o desempenho luminoso de uma fachada, sugere-se tomar um ponto no primeiro pavimento tipo e um ponto no pavimento superior.

¹⁴ A formulação para o cálculo de FOC é uma adaptação do procedimento proposto por Lynes (1968).

Figura 52: Ângulo de elevação (θ) da obstrução em relação ao ponto P

Figura 53: Ângulos em planta entre o ponto P e a obstrução

Figura 54: Ângulo superior (Φ_{sd}) correspondente à largura e à altura da obstrução.

$$FOCd = (1/2 * \pi) * (\Phi_d - \Phi_{sd} * \cos(\theta)) \quad (\text{adimensional}) \text{ eq 16}$$

$$FCOe = (1/2 * \pi) * (\Phi_e - \Phi_{se} * \cos(\theta)) \quad (\text{adimensional}) \text{ eq 17}$$

$$\Phi_d = \text{atan}(Ld/D) \quad (\text{ver fig 8}) \text{ eq 18}$$

$$\Phi_e = \text{atan}(Le/D) \quad (\text{ver fig 8}) \text{ eq 19}$$

$$\Phi_{sd} = a \tan \left(\frac{Ld}{\sqrt{(H - h_p)^2 + D^2}} \right) \text{ eq 20}$$

$$\Phi_{se} = a \tan \left(\frac{Le}{\sqrt{(H - h_p)^2 + D^2}} \right) \text{ eq 21}$$

$$\theta = a \tan \left(\frac{H - h_p}{D} \right) \text{ eq 22}$$

- H** é a altura da obstrução
h_p é a altura do ponto P a ser avaliado (m)
D é a distância entre o ponto P e a obstrução (m)
L_e é dimensão da edificação correspondente ao ângulo Φ_e (figura 53)
L_d é dimensão da edificação correspondente ao ângulo Φ_d (figura 53)

Figura 55: Ponto P localizado a 5 m da obstrução, na linha central da mesma e 1,5 m do piso

A título de ilustração, considere uma obstrução de altura 30 m e largura 20 m localizada conforme ilustra a Figura 55.

O valor de FOC para o ponto P localizado na linha central da obstrução, a 1,5 m do piso, seria:

$$\theta = \text{atan}(((30-1,5)/5)) = 80^\circ$$

$$\Phi_d = \Phi_e = \text{atan}(10/5) = 63,4^\circ$$

$$\Phi_{sd} = \Phi_{se} = \text{atan}[10/(((30-1,5)^2 - 5^2))] = 19^\circ$$

$$\text{FOC}_d = \text{FOC}_e = (0,16) * (63 - 19 * \cos(80)) = 0,167$$

$$\text{FOC} = 0,334$$

Nota: 0,16 corresponde ao produto $(1/(2*\pi))$

O valor de “FOC” representa a parcela encoberta do céu total: dessa forma deve ser multiplicado pelo valor de Ech (iluminância proveniente do céu em plano horizontal) descrita pela equação equação 2.

Portanto, a iluminância devida ao céu no plano da fachada, quando existem obstruções, deverá ser $\text{Ech} * (1 - \text{FOC})$ (lux).

4.1.2.1.4 Correção na contribuição do sol devido às obstruções do entorno

Ao se determinar iluminância nas fachadas devida ao sol é necessário identificar os horários de sombreamento que as obstruções do entorno produzirão ao longo do ano e das horas do dia. Os períodos de sombreamento podem ser determinados a partir do diagrama de insolação para a cidade em questão, sobrepondo-se a máscara

Figura 56: Diagrama de insolação com aplicação da máscara correspondente à obstrução

das obstruções, como mostra a figura 56, ou analiticamente, como indicado a seguir:

- determinar o ângulo de altura solar ($\hat{i}$) e azimuth solar (Azs) para o período das 5h às 19h, para todos os meses do ano;
- determinar os ângulos em planta e corte entre o ponto P e a obstrução como indicado nas equações 17, 18 e 21;
- corrigir os ângulos em planta (Φ_e e Φ_d) com o azimuth da fachada (ver figura 14)
- calcular o valor de β (ângulo de incidência do sol na fachada) segundo equação 10.

A condição de “sol obstruído” ocorrerá, no ponto P, sempre que as seguintes condições forem atendidas:

Condição 1..... $\theta \geq \beta$ (ângulo de altura da obstrução maior ou igual ao ângulo de incidência do sol na fachada)

Condição 2..... $(Azi - \Phi_e) \leq Azs \leq (Azi + \Phi_d)$ (Azimute do sol entre os limites da obstrução em planta) (figura 57)

Identificados os horários (para todos os meses do ano) nos quais ocorre o sombreamento na fachada em estudo, a contribuição do sol na iluminância (nessa fachada) passa a ser zero. No caso do exemplo da figura 55, considerando que a fachada tem orientação Norte (São Paulo), os períodos de sombreamento seriam aqueles indicados na Figura 58.

A metodologia aqui proposta sugere identificar a iluminância (no plano da fachada) que ocorre 80% das horas do ano. No caso do exemplo da figura 55, a frequência de ocorrência 80% corresponderia a 10000 lux sem a presença da obstrução e 7500 lux com a obstrução de 30 m de altura, 20 m de largura, localizada a 5 m da fachada. (figura 59)

Uma vez identificada a iluminância total no plano da fachada ($E = E_{cv} + E_{sv}$) com

Figura 57: Definição dos limites da obstrução em planta

Figura 58: Distribuição dos períodos do ano em que a obstrução impede a incidência de sol na fachada Norte, em São Paulo. Dimensões da obstrução descritas na figura 55

freqüência de ocorrência 80% para a fachada, poder ser determinada a área do piso do pavimento (correspondente à fachada em questão) que dispensa a iluminação artificial durante 80% das horas do ano.

O cálculo dessa área exige a determinação da distancia crítica “d”, isto é, distância entre a abertura na fachada a ser analisada e o ponto no interior do ambiente que atende às exigências de conforto luminoso. (figura 44)

O valor da iluminância com freqüência de ocorrência 80%, aqui denominada “E (80%)” expressa a contribuição de luz natural de metade de um “céu uniforme equivalente”, conforme justificado anteriormente. Dessa forma, a iluminância deve ser multiplicada por 2, representando assim a contribuição do céu total. Adotada tal hipótese, o valor da iluminância em cada ponto no interior do ambiente pode ser determinado por:

$$E_p = T * FC * E_h \quad \text{eq 23}$$

$$E_h = 2 * E(80\%) \quad \text{eq 24}$$

E_p é a iluminância num dado ponto P no plano de trabalho

T é a transmissão da área envidraçada

E_h é a iluminância no plano horizontal, correspondente ao dobro da iluminância de freqüência de ocorrência “E(80%)”

FC é o fator de céu

$$FC = \left(\frac{1}{2 * \pi} \right) * (\alpha - \alpha_1 * \cos(\omega)) \quad \text{eq 25}$$

$$\alpha = a \tan\left(\frac{L_j}{d}\right) \quad \text{eq 26}$$

Figura 59: Distribuição da freqüência de ocorrência da iluminância em fachada Norte, em São Paulo.

$$\alpha_1 = a \tan \left(\frac{L_j}{\sqrt{(H_j^2 + d^2)}} \right) \quad \text{eq 27}$$

$$\cos(\omega) = \frac{d}{\sqrt{(H_j^2 + d^2)}} \quad \text{eq28}$$

L_j é a largura da metade da janela (m)
 H_j é a altura da janela, medida a partir do plano de trabalho (m)
 d é a distância entre o plano da janela e o ponto em estudo

Ressalte-se que o valor de FC calculado acima expressa apenas metade da janela. Portanto o valor final de FC deve ser multiplicado por 2.

Considerando que a variável procurada é a distância crítica “d”, é necessário calcular os valores de E_p para várias distâncias, até que o valor mínimo (por exemplo, 300 lux) seja encontrado. O gráfico da figura 60 ilustra os valores da distribuição de iluminação no caso de um ambiente com janela de 4 m de largura e altura 1,5 m. A fachada desse exemplo é a mesma descrita na figura 55. Observar na figura 60 o efeito da obstrução na distribuição da iluminação no plano de trabalho: a distância crítica no caso em que não existe obstrução no entorno seria de 4,25 m, e com obstrução, o nível de iluminação de 300 lux seria atingido até 3,75 m.

No entanto, a presença de proteção solar externa é um fator determinante na eficiência da iluminação natural dos ambientes. Para incluí-la no cálculo da distância crítica “d”, basta identificar a janela de altura equivalente, como indicado a seguir (figura 61):

$$h_e = (H_j * d) / (d + L) \quad (\text{m}) \quad \text{eq 29}$$

Figura 60: Distribuição da iluminância no plano de trabalho em ambiente voltado para o Norte, com e sem obstrução no entorno, em São Paulo.

Figura 61: Esquema para definição de uma janela equivalente

- he** é a altura equivalente da janela
Hj é a distância entre o peitoril e o brise (placa horizontal)
d é a distância entre a janela e o ponto onde será determinado o valor da iluminância
L é a largura do brise

O valor da janela equivalente “he” deve substituir o valor de “Hj” nas equações 26, 27 e 28. O gráfico da figura 62 ilustra a influência do brise na distribuição da iluminância no interior do ambiente.

Para a determinação da largura (L) da placa de proteção solar (brise), a presente metodologia sugere:

- para cada mês do ano deve ser identificado o ângulo de proteção (ϕ) (ver figura 61) que tem eficiência total no período das 9h às 17h;
- selecionar, no conjunto dos 12 meses o valor mínimo do ângulo ϕ ;
- determinar o valor de L (largura do brise) em função da altura da janela.

Com relação à variável “T” (transmissão da área envidraçada) esta metodologia sugere que essa seja a única variável a ser considerada nas perdas de luz que atingem o interior do ambiente, desprezando assim as perdas devidas aos caixilhos e limpeza dos vidros. Esta decisão decorre do fato de que os ganhos por reflexão nas superfícies internas e externas não são computados na presente metodologia, assim, desprezar aquelas perdas implica em uma atitude compensatória. Ressalte-se que na fase posterior de avaliação de desempenho luminoso de cada um dos ambientes, todas as variáveis deverão ser consideradas.

Conhecida a distância crítica “d” para as quatro fachadas e a largura das mesmas, fica determinada a área na qual a luz natural pode ser utilizada durante 80% das horas do ano. Com base nessa percentagem deve ser estimado o valor do consumo de energia ao longo do ano decorrente do sistema de iluminação artificial.

Figura 62: Distribuição da iluminância no plano de trabalho, em fachada Norte, em São Paulo, considerando janela com proteção solar (brise) e sem proteção solar.

A título de exemplo, considerando-se:

- um edifício de dez andares, com área de 100 m² por pavimento tipo;
- 60% é a percentagem da área do piso de cada pavimento que pode ser atendida com luz natural durante 80% das horas do ano;
- 10W/m² a potência do sistema de iluminação artificial instalada;
- 22 dias por mês e 8h por dia o período de atividade

O consumo de energia total (CIA) anual estimado, neste caso, seria de:

$$\text{CIA} = 10 * (40 * 10 * 8 * 22) = 704 \text{ kWh/mês}$$

No caso da janela com proteção solar, considerando que a percentagem da área equivalente ficaria reduzida a 25%, o consumo passaria a 1320 kWh/ano. No entanto, este acréscimo no consumo de energia elétrica deve ser considerado apenas quando comparado com a redução do consumo pelo condicionamento artificial.

4.2 Desempenho térmico e eficiência energética

O desempenho térmico de uma edificação é função da interação entre as condições climáticas locais, as atividades realizadas nos ambientes e a resposta térmica da envoltória. O resultado dessa interação define se as exigências de conforto térmico dos usuários poderão ser atendidas com ou sem condicionamento artificial dos ambientes. De um modo geral, a tendência da atividade de projetar edificações não vem sendo precedida por qualquer tipo de análise que indique o potencial de climatização natural, ou a necessidade do condicionamento artificial, ou ainda mesmo, a possibilidade do uso híbrido dessas duas alternativas, ao longo do ano e/ou períodos do dia.

A mera intenção de projetar uma edificação que dispense o condicionamento artificial não faz do projeto um sucesso: freqüentemente as condições climáticas locais, associadas às características das fontes de calor no ambiente impedem que o condicionamento artificial seja dispensado. Nestes casos, quando esse é o diagnóstico, o esforço deve ser realizado para minimização do consumo de energia elétrica.

No âmbito da presente metodologia, sugere-se que a mencionada “análise” seja desenvolvida a partir da determinação dos seguintes parâmetros:

- temperatura do ar no interior dos ambientes, considerando a hipótese de condicionamento natural;
- consumo de energia elétrica que decorre do uso do condicionamento artificial;
- compatibilização do desempenho térmico com o resultado da caracterização do desempenho luminoso e acústico da edificação.

Ressalte-se que tal análise pressupõe que o projeto da edificação está na fase do anteprojeto, que o programa está definido e que o entorno é conhecido.

4.2.1 Critérios de avaliação

Uma vez calculados os valores da temperatura do ar interior dos ambientes, considerando a hipótese do condicionamento natural, tais valores devem ser comparados com os limites que caracterizam as condições de conforto dos usuários. São inúmeros os métodos¹⁵ que vêm sendo utilizados para identificação dos índices de conforto térmico, mas para efeito da presente metodologia optou-se pela adoção da Temperatura de Conforto (equação 30) proposta por Humphreys e citado por Santamouris (1996) uma vez que esse índice está associado à capacidade de aclimação das pessoas à uma dada condição climática.

$$T_{co} = 0,53 * T_{med} + 11,9 \text{ (}^{\circ}\text{C)} \quad \text{eq 30}$$

T_{co} é a temperatura de conforto

T_{med} é a temperatura média do mês

Segundo Santamouris (1996), os resultados obtidos por Humphreys (figura 63),

Figura 63: Resultados da pesquisa de Humphreys (citado por Santamouris (1996)) que correlaciona a temperatura de conforto e a temperatura média mensal da região .

¹⁵ Revisão histórica completa sobre índices de conforto pode ser consultada em Monteiro, M. L.; Alucci, M. P. (2005).

indicam uma faixa de aceitação de 2,4°C acima e abaixo do valor de Tco.

Aplicando-se tal critério para uma cidade como São Paulo, considerando que a temperatura média no mês mais quente do ano (fevereiro) é de 26,7°C, a correspondente temperatura de conforto (Tco) seria 26,1°C e os limites de aceitação seriam de 28,5°C (máximo) e 23,7°C (mínimo), para ambientes não climatizados artificialmente.

Na presente metodologia (**TAO**), a Tco proposta por Humphreys ($\pm 2,4^\circ\text{C}$) é o parâmetro adotado para identificar se existe a demanda pelo condicionamento artificial, ou não, num dado ambiente.

Quanto ao critério para avaliar o limite de consumo de energia elétrica para o caso de climatização artificial, inexistente legislação brasileira. No entanto, com base nas pesquisas realizadas por Romero, M. (2004), dentro do universo das edificações brasileiras já avaliadas por esse pesquisador, pode-se afirmar que 3kWh/mês/m² seria um limite razoável para considerar-se uma edificação eficiente.

Na presente metodologia, sugere-se que o consumo de energia elétrica deva ser avaliado conjuntamente com o consumo de energia elétrica associado ao sistema de iluminação artificial, dado que o total do consumo depende fundamentalmente das decisões do projetista. Por exemplo, a opção por uma proteção solar externa (brise) implica na redução do consumo de energia para condicionamento artificial mas implica também no aumento do consumo de energia para iluminação artificial. A decisão quanto à opção pela iluminação natural ou condicionamento artificial será sempre do projetista. As figuras 64 e 65 ilustram um caso típico das conseqüências de cada uma dessas decisões.

4.2.2 Parâmetros para avaliação do condicionamento natural

Os parâmetros selecionados para a caracterização do desempenho térmico da edificação são:

- a temperatura do ar no horário em que a temperatura do ar exterior é

Figura 64: Consumo de energia estimado em ambientes com orientação N, S, E e W, sem a presença de brise.

Figura 65: Consumo de energia estimado em ambientes com orientação N, S, E e W, com a presença de brise.

máxima (em geral às 15h), e

– a variação da temperatura horária no interior dos ambientes, no mês mais quente e no mês mais frio do ano.

O resultado da temperatura interior na primeira situação (crítica) facilita a comparação entre ambientes localizados em diferentes orientações, mas não tem sensibilidade para identificar, por exemplo, o impacto do brise ao longo do dia, o que pode ser verificado quando aplicada a segunda situação (valores horários). (Figura 66)

O cálculo da temperatura do ar interior, em qualquer das duas situações pode ser feito adotando-se a equação 30 (Frota (1995), Croiset (1972), Alucci (1981)). A proposta original dessa metodologia (CSTB (1958)) se destinava ao cálculo da temperatura do ar interior no horário crítico, ou seja, quando o ganho de carga térmica pelo ambiente é máximo. Na presente proposta o cálculo da temperatura interna foi adaptado para ser aplicado à todas as horas do dia.

Os procedimentos necessários para o cálculo da temperatura do ar interior, nas duas situações, estão descritos a seguir.

4.2.2.1 Cálculo da temperatura interna máxima

$$T_i = T_{em} + (1-m) \cdot \Delta T + (1-m) \cdot E \quad (^\circ\text{C}) \quad \text{eq 31}$$

T_i é a temperatura máxima do ar interior do ambiente

T_{em} é a temperatura média do mês

m é o amortecimento associado à inércia térmica do ambiente

E é a elongação da variação da temperatura ao longo do dia típico do mês, calculada por:

$$E = (T_{\text{max}} - T_{\text{min}}) / 2 \quad (^\circ\text{C}) \quad \text{eq 32}$$

Figura 66: Variação horária da temperatura do ar interior indicando o efeito do brise no desempenho térmico do ambiente. Observar que o brise terá efeito negativo na eficiência da iluminação natural do ambiente.

Temax é a temperatura máxima do dia típico do mês

Temin é a temperatura mínima do dia típico do mês

ΔT é a diferença entre a temperatura interna e externa

Nota: A equação 31, pode ser aplicada para o cálculo da variação horária da temperatura. Nesse caso deve ser utilizada a mesma temperatura média e elongação típica do mês mais quente e mais frio do ano.

O valor de “ ΔT ” expressa a relação entre a perda e o ganho de calor do ambiente. Essa variável é exatamente a incógnita que deve ser encontrada, uma vez que as demais variáveis da equação 31 são conhecidas, pois dependem das características climáticas locais e das decisões tomadas no projeto e programa da edificação.

Os procedimentos para a seleção dos valores de Tem, Temax e Temin e E estão disponíveis em Frota & Schiffer, 1995.

O valor da inércia térmica da edificação deve ser estimado com base nas características construtivas da envoltória da edificação. Segundo Croiset (1972), citado por Frota & Schiffer (1995) e Alucci (1981), as construções podem ser classificadas em quatro classes: inércia muito fraca, fraca, média e forte, respectivamente com valores de “m” iguais a: 0,4; 0,6; 0,8 e 1,0. O cálculo de “m” é função do peso de cada componente e da presença de materiais isolantes nos revestimentos desses mesmos componentes.

Considerando-se os materiais de uso freqüente nas construções brasileiras e aplicando-se o procedimento de cálculo acima mencionado, pode-se verificar que valores de “m” iguais a 0,6 e 0,8 (inércia fraca e inércia média) são representativos de praticamente todas as construções. Sugere-se, para efeito de aplicação da metodologia aqui proposta, duas situações distintas:

- adotar 0,6 para o valor de “m” quando, nos vedos horizontais e verticais, são aplicados isolantes térmicos na face interna dos mesmos;
- adotar 0,8 para o valor de “m” quando, nos vedos horizontais e verticais, não são aplicados isolantes térmicos.

4.2.2.1.1 Determinação de “ ΔT ”

A variável “ ΔT ” expressa a relação entre ganho e perda (totais) de carga térmica pelo ambiente, como indicado na equação 33.

$$\Delta T = q/K \quad \text{eq 33}$$

q é a soma total dos ganhos de carga térmica

K é a soma total das perdas de carga térmica

A carga térmica ganha pelo ambiente depende tanto das fontes de calor internas quanto do ganho devido à irradiação solar, como pode ser observado na equação 34. (ver fig 67)

$$q = q_{RS} + q_P + q_{SI} + q_E \quad (W) \quad \text{eq 34}$$

q_{RS} é a carga térmica devido à irradiação solar (direta e difusa)

q_P é a carga térmica devido às pessoas (depende da atividade)

q_{SI} é a carga térmica devida ao sistema de iluminação artificial (depende do número e tipo de lâmpadas e luminárias)

q_E é a carga térmica devida aos equipamentos

4.2.2.1.2 Ganho devido à irradiação solar

O ganho devido à irradiação solar depende:

- do tipo de componente (opaco ou transparente/translúcido)
- da área dos componentes expostos à radiação solar
- da orientação do componente
- da cor do revestimento externo do componente
- da velocidade do vento local
- da presença de proteções solares
- da presença de obstruções no entorno

Figura 67: Exemplo de ganhos de carga térmica em ambiente típico de escritório, para mês de verão, em São Paulo.

Para os componentes opacos a carga térmica deve ser determinada por:

$$q_{RSop} = A \cdot \alpha \cdot U \cdot (RD + Rd) / h_e \quad (W) \quad \text{eq 35}$$

- A** é a área do componente (m^2)
 α é a absorção à irradiação solar (associada à cor do revestimento externo)
U é o coeficiente global de transmissão térmica do componente, calculado por:
 $1/U = 1/h_e + 1/h_i + \Sigma(e/\lambda)$ (W/m^2K) eq 36
 h_e é a condutância térmica da superfície externa do componente (W/m^2K)
 h_i é a condutância térmica da superfície interna do componente (W/m^2K)
“e” é a espessura (m) das camadas que compõe o componente
 λ é a condutividade térmica de cada camada do componente

RD é o valor da irradiação solar direta

Rd é o valor da irradiação solar difusa

O valor da absorção à irradiação solar (α) pode ser obtido por meio de tabelas, uma vez que são resultados obtidos em laboratório. A tabela 3 informa alguns valores para essa variável.

Os valores do coeficiente global de transmissão térmica do componente (U) para componentes de uso corrente na construção brasileira podem ser extraídos da NBR 15220-3 (2005) (tabela4)

Nos casos em que os componentes não constem da referida Norma, os valores de “U” podem ser determinados pela equação 36. Nesse caso, devem ser identificados os valores de condutividade térmica (λ) dos materiais na NBR 15220-3 (2005). (tabela 5). Para a determinação de “ h_e ” e “ h_i ”, observar:

$$h_e = h_c + h_r \quad (W/m^2K) \quad \text{eq 37 (Frota (1995))}$$

h_c é o coeficiente de troca de calor por convecção em função da velocidade do ar (W/m^2K)

Superfície	Absorção (α)
preto fosco	0,85 – 0,95
tijolo ou telha cor vermelha	0,65 – 0,80
tijolo ou telha cor amarela	0,30 – 0,50
alumínio, bronze (brilhantes)	0,30 – 0,50
latão, alumínio fosco, aço galvanizado	0,40 – 0,65
latão, cobre (polidos)	0,30 – 0,50
alumínio, cromo (polidos)	0,10 – 0,40

Tabela 3: Valores de absorção à irradiação solar (Frota (1995))

$$h_c = 5,8 + 4,1 \cdot v \quad (\text{W/m}^2\text{K}) \quad \text{eq 38 (EDSL/TAS (2006))}$$

v é a velocidade do vento (m/s)

h_r é o coeficiente de troca de calor radiante ($\text{W/m}^2\text{K}$)

$$h_r = \epsilon \cdot H_r \quad (\text{W/m}^2\text{K}) \quad \text{eq 39 (Granja (2002))}$$

ϵ é a emissividade da superfície, igual a 0,85 para os materiais de construção em geral

H_r é o coeficiente de troca de calor radiante, igual a 6,3 ($\text{W/m}^2\text{K}$), para temperaturas superficiais médias da ordem de 30°C. (Granja (2002)).

Para a determinação de “ h_i ”, a NBR 15220-2 (2005) recomenda os seguintes valores:

- superfície horizontal (fluxo ascendente): $h_i = 0,10$
- superfície horizontal (fluxo descendente): $h_i = 0,17$
- superfície vertical: $h_i = 0,13$

Para os componentes transparentes ou translúcidos a carga térmica deve ser determinada por:

$$q_{RSv} = A \cdot F_{Sv} \cdot (R_D + R_d) \quad \text{eq 40}$$

q_{RSv} é a carga térmica devida à irradiação solar na área envidraçada (W)

A é a área da superfície envidraçada (m^2)

F_{Sv} é o fator solar do elemento transparente ou translúcido, fornecido pelo fabricante ou calculado por:

$$F_{Sv} = \zeta \cdot \alpha \cdot U / h_e \quad (\text{adimensional}) \quad \text{eq 41}$$

ζ é a transmissão solar do vidro (fornecida pelo fabricante)

α é a absorção solar do vidro (fornecida pelo fabricante)

U e h_e definidos acima

Parede	Descrição	U $W (m^2.K)$	C_T $(m^2.K)$	ϕ (horas)
	Parede de tijolos de 6 furos quadrados, assentados na maior dimensão Dimensões do tijolo: 9,0 x 14,0 x 19,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 19,0 cm	2,02	192	4,5
	Parede de tijolos de 21 furos circulares, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 12,0 x 11,0 x 25,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 17,0 cm	2,31	227	4,5
	Parede de tijolos de 6 furos circulares, assentados na maior dimensão Dimensões do tijolo: 10,0 x 15,0 x 20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 20,0 cm	1,92	202	4,8
	Parede de tijolos de 8 furos quadrados, assentados na maior dimensão Dimensões do tijolo: 9,0 x 19,0 x 19,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 24,0 cm	1,80	231	5,5
	Parede de tijolos de 8 furos circulares, assentados na maior dimensão Dimensões do tijolo: 10,0 x 20,0 x 20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 25,0 cm	1,61	232	5,9
	Parede dupla de tijolos de 6 furos circulares, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 10,0 x 15,0 x 20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 26,0 cm	1,52	248	6,5

Tabela 4: Exemplo de valores do coeficiente global de transmissão térmica (“ U ”) para vedos verticais (NBR 15220-3) (2005)

O fator solar (FSv) da superfície envidraçada tem importância fundamental no ganho de calor pelo ambiente e interfere diretamente no desempenho luminoso e eficiência energética da edificação. Frequentemente, a escolha do tipo de vidro a ser adotada coloca-se como um dilema para o projetista, não só pelo efeito plástico na fachada, mas particularmente por que sua eficiência deve ser comparada com proteções solares externas, que podem ter sido eliminadas no partido geral do projeto. O gráfico da figura 68 ilustra uma situação típica para o verão em São Paulo, onde a eficiência do brise (caso float incolor + brise) é a alternativa de redução do ganho de calor para a abertura que implica no menor consumo total de energia (ar condicionado + iluminação artificial).

Nota: Valores do Fator Solar (FSv) de vidros disponíveis no mercado estão disponíveis em Alucci et al. (1997).

4.2.2.1.3 Efeito das obstruções e da proteção solar (brise) no ganho de calor

No cálculo de “qRSv” (ganho de carga térmica em elementos transparentes devido ao sol) deve ser considerada tanto a presença de obstruções do entorno como a presença de elementos de sombreamento (brise). No caso das obstruções deve ser zerado o valor da irradiação solar direta (RD) nos horários identificados como obstruídos. No entanto, a obstrução não elimina o total da radiação difusa, mas somente a parcela correspondente ao “FOC” (Fator de Obstrução do Céu) calculado na equação 16. Deve-se observar que a variável FOC corresponde à percentagem obstruída de toda abóbada celeste. Assim, o valor de Rd (irradiação difusa) que é recebida pela área envidraçada será:

$$Rd = 0,5 * (Rdh * (1 - FOC)) \quad (W/m^2) \quad \text{eq 42}$$

Rdh é a radiação difusa em plano horizontal

Material	Condutividade térmica (λ)(W/mK)
cerâmica (2000 kg/m ³)	1,05
fibrocimento (1900 kg/m ³)	0,95
madeira (600 kg/m ³)	0,14
concreto (2200 kg/m ³)	1,75
lã de vidro (50 kg/m ³)	0,045

Tabela 5: Valores de condutividade térmica de materiais de construção (NBR 15220-3 (2005)).

Figura 68: Consumo de energia elétrica estimado para quatro tipos de vidro, considerando o aproveitamento da luz natural (São Paulo, fachada oeste, fevereiro)

As Figuras 69 e 70 ilustram o ganho de carga térmica devido à irradiação solar direta e difusa, quando uma abertura envidraçada tem azimuth 90°, em duas situações distintas: sem obstrução e com obstrução à 10 m da abertura, com FOC=0,8 (São Paulo, fevereiro). A obstrução das figuras 69 e 70 têm 20 m de altura e 30 m de largura.

Quanto à presença de proteção solar externa (brise), a correção da carga térmica devida à irradiação solar deve ser feita de modo semelhante àquela para as obstruções. Considerando que o brise tem eficiência total, a parcela relativa à RD deve ser zerada, e a parcela relativa à Rd (irradiação difusa) deve ser corrigida pelo “Fator de Sombreamento do Brise” (FSb), calculado por:

$$FSb = \frac{\sqrt{(L^2 + H_j^2)} - L}{H_j} \quad \text{eq 43}$$

FSb é o Fator de Sombreamento do Brise

L é a largura da placa horizontal que compõe o brise (Figura 71)

Hj é a distância entre a borda inferior da janela e a placa horizontal (Figura 71)

O cálculo final da carga térmica devida à irradiação solar ficará:

$$qRSv = A * FSv * [(RD * FSb) + FSb * ((1 - FOC) * 0,5 * Rdh)] \quad \text{eq 40}$$

Figura 69: Distribuição horária da irradiação solar direta em abertura com azimuth 90°, São Paulo, fevereiro.

Figura 70: Distribuição horária da irradiação solar difusa em abertura com azimuth 90°, São Paulo, fevereiro.

4.2.2.1.4 Ganho de carga térmica devido à ocupação (qP)

O ganho de carga térmica devido à presença dos usuários é função das atividades realizadas no interior dos ambientes.

Segundo a ASHRAE (1997), os valores correspondentes às parcelas de calor sensível e calor latente são aqueles resumidos na Tabela 6¹⁶. Para o cálculo da temperatura interna (equação 31) devem ser utilizadas as parcelas relativas ao calor sensível. As parcelas relativas ao calor latente devem ser consideradas apenas no dimensionamento do sistema de condicionamento artificial.

O valor de “qP” é estimado por:

$$qP = NP \cdot Ts \quad (W) \quad \text{eq 44}$$

NP é o número de usuários

Ts é a parcela relativa ao calor sensível (tabela 6)

Nota: No cálculo de qP devem ser considerados apenas os horários nos quais são previstas as atividades.

4.2.2.1.5 Ganho de carga térmica devido ao sistema de iluminação artificial (qSI)

Para estimativa do ganho de carga térmica correspondente ao sistema de iluminação artificial devem ser computadas duas situações distintas:

- a iluminação artificial somente é utilizada nos períodos em que a iluminação natural é insuficiente, ou
- o sistema de iluminação artificial permanece ligado durante todo o período de atividades, independente da contribuição da iluminação natural.

Figura 71: Dimensões do brise (placa horizontal) para cálculo do Fator de Sombreamento do Brise (FSB).

Tipo de atividade	calor latente	calor sensível
ambiente vazio	0	0
escritório, banco	59	73
fábrica (trabalho moderado)	183	110
fábrica (trabalho sedentário)	139	81
ginásio de esportes	319	208
hotel, residência	59	73
restaurante	139	81
teatro, sala de aula	45	72

Tabela 6: Parcelas de calor sensível e calor latente geradas pelos usuários em função do tipo de atividade (W).

¹⁶ As Normas ISO 7730 (1994) e ISO 8996 (1990) informam valores de taxa metabólica para outras atividades não listadas na Tabela 6.

O cálculo de “qSI” é estimado por:

$$qSI = A * PSI \quad (W) \quad \text{eq 45}$$

A é a área do ambiente

PSI é a densidade de potência do sistema de iluminação artificial instalado
(W/m²)

A densidade de potência do sistema de iluminação artificial é função das características e do número de lâmpadas e luminárias instaladas. A tendência mundial dos sistemas de iluminação artificial é aumentar sua eficiência (lâmpadas e luminárias). Considerando a variedade disponível no mercado e a impossibilidade de generalização, a metodologia aqui proposta sugere que a densidade de potência do sistema de iluminação seja determinada em função do nível de iluminância requerido para a realização das atividades¹⁷, utilizando a seguinte equação:

$$PSI^{18} = 0,039 * Ep + 5,08 \quad (W/m^2) \quad \text{eq 45a}$$

Ep é a iluminância desejada no plano de trabalho (lux)

Assim, em um ambiente típico de escritório, se a iluminância desejada é de 500 lux, o sistema de iluminação artificial terá 24,6 W/m². Ressalte-se que sistemas considerados eficientes, dependendo da cor das superfícies internas do ambiente podem ser resolvidos com potência da ordem de 10 W/m². No entanto, considerando a inexistência de dados hoje no Brasil, a equação 45 pode ser considerada uma referência.

No caso em que o sistema de iluminação é utilizado para complementar a iluminação natural, pode-se utilizar o valor da distancia crítica “d” determinado em 4.1.2.1. A título de exemplo, observar:

¹⁷ A NBR 5413 (1982) indica valores de iluminância (lux) no plano de trabalho, em função das atividades a serem realizadas no ambiente.

¹⁸ A equação (45.a) foi extraída de dados sugeridos por Brown & DeKay (2004).

– uma sala de 5 m por 5 m, para a qual foi identificado que a distancia crítica “d” é de 3 m, durante 80% das horas do ano, pode-se afirmar que a área que demandará iluminação artificial é de 15m² (3x5). Portanto, o valor de qSI, se a densidade de potência do sistema de iluminação artificial é de 10W/m², será:

$qSI = 15 \times 10 = 150W$ e não 250W (se todo o sistema de iluminação estivesse acionado)

Nota: No cálculo da temperatura horária do ar interior, o valor de qSI deve ser zerado para os horários em que não são previstas atividades.

4.2.2.1.6 Ganho de carga térmica devido aos equipamentos (qE)

O ganho da carga térmica devido aos equipamentos (“qE”) existentes no ambiente deve ser estimado com base na potência dos mesmos, por:

$$qE = 0,6 \times \Sigma (NE \times PotE) \quad (W) \quad (eq \ 46)$$

NE é o número de cada tipo de equipamento (computadores, impressoras, refrigerados, etc)

PotE a potência de cada equipamento

0,6 indica que 60% da potência dos equipamentos é transformada em calor (Frota & Schieffer (1988))

Como regra geral, em função das características das atividades a serem realizadas no ambiente, Brown & DeKay (2004) sugerem os valores indicados na tabela 7. Observar que tais valores devem ser multiplicados pela área do ambiente, diferentemente da equação 46.

Nota: No cálculo da temperatura horária do ar interior, o valor de “qE” deve ser zerado para os horários em que não são previstas atividades no ambiente.

Tipo de edificação	Ganho de calor (W/m ²)	
	baixo	alto
escritório	10	17
sala de reunião	4	7
comércio	10	17
ensino	14	23
restaurante	31	52
hotel	10	17
residência	3	6

Tabela 7: Valores de carga térmica devido aos equipamentos (Brown & DeKay (2004)).

4.2.2.1.7 Cálculo das perdas de carga térmica

As perdas de carga térmica em um ambiente ocorrem por condução (através dos componentes) e por ventilação.

A condução de calor pelos componentes (K_c) é função do coeficiente global de transmissão térmica (“U”), da área do componente e da diferença entre a temperatura do ar interior do ambiente e temperatura dos meios externos. Assim, o cálculo (Frota & Schiffer, 1988) de “ K_c ” será:

$$K_c = \Sigma(U \cdot A) \cdot \Delta T \quad (W) \quad \text{eq 47}$$

K_c é a perda por condução através dos componentes

$\Sigma(U \cdot A)$ é a somatória do produto do coeficiente global de transmissão térmica (U) pela área de cada um dos componentes em contato com o meio externo (admitindo-se que os demais ambientes encontram-se em equilíbrio térmico com o ambiente em estudo).

Para o cálculo da parcela de carga térmica perdida por ventilação, deve-se distinguir duas situações distintas:

- ventilação por efeito chaminé, e
- ventilação por efeito de vento.

A carga térmica que pode ser removida por ventilação (chaminé ou vento ou ambas) pode ser dimensionada (Baturin (1976)), por:

$$K_v = 0,34 \cdot \varnothing \cdot \Delta T \quad (W) \quad \text{eq 48}$$

0,34 é o produto entre o calor específico do ar (0,28W/kgK) e a massa específica do ar (ρ) a 20°C, calculada por:

$$\rho = 1,293 \cdot 273 / T \quad (kg/m^3) \quad \text{eq 49}$$

- $1,293$ é a massa específica do ar à 0°C
 T é a temperatura do ar (K) para a qual se deseja calcular a massa específica
 Φ é a vazão de ar (m^3/h) (por efeito chaminé ou por efeito de vento)
 ΔT é a diferença de temperatura (entre ar interior e exterior)

4.2.2.1.8 Vazão por efeito chaminé

A ventilação por efeito chaminé decorre da diferença de pressões originadas nas diferenças de temperatura entre zonas do mesmo ambiente e/ou entre o interior e o exterior (figura 72). Para o dimensionamento da vazão por efeito chaminé (Φ_{ch}), a Norma Inglesa BS 5925 (1991) recomenda:

– para ambientes com uma abertura

$$\Phi_{\text{ch}} = C_d * (A/3) * \sqrt{\frac{\Delta T * g * H_j}{T}} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad \text{eq 50}$$

–

- C_d é o coeficiente de descarga (0,61)
 A é a área da abertura (destinada à ventilação) (m^2)
 ΔT é diferença de temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
 g é a aceleração da gravidade (m/s^2) ($9,8 \text{ m}/\text{s}^2$)
 H_j é a altura da abertura
 T é a temperatura média (entre interior e exterior)

– para ambiente com duas aberturas na mesma fachada

$$\Phi_{\text{ch}} = C_d * A * \left(\frac{\varepsilon \sqrt{2}}{(1 + \varepsilon) * (1 + \varepsilon^2)^{0,5}} \right) * \left(\frac{(\Delta T * g * H_1)}{T} \right)^{0,5} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad \text{eq 51}$$

$$\varepsilon = A_1/A_2 \quad (\text{figura 30}) \quad \text{eq 52}$$

Figura 72: Corte esquemático para determinação da vazão por efeito chaminé, quando o ambiente dispõe de uma única abertura (BS 5925(1991))

Figura 73: Corte esquemático para determinação da vazão por efeito chaminé, quando o ambiente dispõe de duas aberturas na mesma fachada (BS 5925 (1991))

$$A = A_1 + A_2 \quad \text{eq 53}$$

– para ambientes com aberturas em fachadas opostas (figura 74):

$$\phi_{ch} = C_d \cdot A_b \cdot \left(\frac{2 \cdot \Delta T \cdot g \cdot H_1}{T} \right)^{0,5} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad \text{eq 54}$$

$$1/A_b^2 = 1/(A_1 + A_3)^2 + 1/(A_2 + A_4)^2 \quad (1/\text{m}^2) \quad \text{eq 55}$$

Uma formulação simplificada para o cálculo da vazão por efeito chaminé (caso de duas aberturas) é indicada por Frota & Schiffer (1988):

$$\phi_{ch} = 0,14 \cdot A_m \cdot (H \cdot \Delta T)^{1/2} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad \text{eq 56}$$

A_m é a menor das áreas (entrada ou saída)

H é a distância entre o centro das aberturas

A aplicação deste método exige que a vazão calculada pela equação 55 seja corrigida segundo o gráfico da figura 75.

Para o caso de duas ou mais aberturas é possível identificar a vazão por efeito chaminé (ϕ_{ch}) utilizando-se o conceito de “zona neutra”, isto é, linha imaginária abaixo da qual todas as aberturas são consideradas de entrada e acima da qual todas as aberturas são consideradas de saída. Neste caso, a vazão final deve ser determinada a partir do cálculo de duas situações hipotéticas para a zona neutra, calculando-se os valores da vazão a partir da equação 55, e, a altura (H) deve expressar a distância entre a zona neutra e o centro de cada abertura. Este método pode ser observado no exemplo abaixo:

– um ambiente com duas aberturas para ventilação, de área 20 m² e 5 m² cada uma, dispostas conforme figura 76;

Figura 74: Corte esquemático para cálculo da vazão por efeito chaminé em ambientes com aberturas em fachadas opostas (BS 5925(1991))

Figura 75: Gráfico para incremento da vazão causada pela diferença entre áreas de entrada e saída de ar no ambiente

Vazão de entrada do ar=0

– considerando, inicialmente, que a zona neutra localiza-se (aleatoriamente) no piso, as aberturas de saída do ar seriam a janela superior e a porta, portanto a vazão por efeito chaminé, para uma diferença de temperatura de 3°C (ΔT), seria (aplicando-se a equação 55):

– para zona neutra na cota zero (piso):

Vazão de saída do ar: $\phi_{ch}=0,14*20*(2,5*3)^{1/2}+0,14*5*(9,5*3)^{1/2}=11,4 \text{ m}^3/\text{s}$

Considerando como segunda hipótese (também aleatória) que a zona neutra localiza-se a 10 m do piso, e aplicando-se a mesma equação 55, a vazão total de saída seria 14,1 m³/h, conforme indicado a seguir:

– para zona neutra na cota 10 m (figura 76):

Vazão de saída do ar=0 (não existem aberturas acima da cota da zona neutra)

Vazão de entrada do ar: $\phi_{ch}=0,14*20*(7,5*3)^{1/2}+0,14*5*(0,5*3)^{1/2}=14,1 \text{ m}^3/\text{s}$

A partir dos valores de vazão de saída e entrada do ar calculadas acima deve ser construído o gráfico da figura 77, que indica a posição real da zona neutra e a vazão de ar por efeito chaminé no ambiente do exemplo. Observar que a hipótese para aplicação desse método é que a vazão de entrada é igual à vazão de saída do ar no ambiente.

Considerando-se que o cálculo da temperatura interna é o objetivo da presente metodologia (equação 30), e que a variável ΔT precisa ser isolada, o valor da parcela perdida por ventilação (por efeito chaminé) (K_v) pode ser definida por:

Sendo

$$K_v=\phi_{ch}*0,35*\Delta T \quad (\text{eq 48}) \text{ e,}$$

Figura 76: Gráfico para identificação da zona neutra e vazão de ar final, por efeito chaminé, no ambiente.

Figura 77: Exemplo para aplicação do procedimento de cálculo da vazão por efeito chaminé

$$\dot{Q}_{ch} = 0,14 \cdot A_m \cdot (H \cdot \Delta T)^{1/2} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad \text{eq 57}$$

$$K_{vch} = (((0,35 \cdot 0,14 \cdot A_m)^2 \cdot H)^{1/3}) \cdot \Delta T \quad \text{eq 58}$$

K_{vch} é a parcela de carga térmica perdida pelo ambiente devida à ventilação por efeito chaminé.

4.2.2.1.9 Vazão por efeito de vento

À parcela de carga térmica removida por efeito chaminé deve ser acrescentada a parcela removida por efeito do vento. A determinação de tal parcela (vento) somente pode ser feita a partir de pressupostos bastante genéricos, uma vez que a ação do vento é extremamente variável e depende não só da geometria das edificações do entorno como das características da topografia e do tecido urbano da região. Cálculos precisos sobre a ação dos ventos nas edificações exigem ensaios em túnel de vento e/ou o uso de ferramentas computacionais (CFD-Computer Fluids Dynamics) que consideram todos os fenômenos físicos (termodinâmicos) envolvidos na interação entre o campo das forças de vento, obstáculos e características de rugosidade do terreno.

De modo semelhante à ventilação por efeito chaminé, a vazão por efeito de vento pode ser calculada por:

$$\dot{Q}_v = 0,6 \times A_o \times V \times \sqrt{(C_e - C_s)} \quad \text{m}^3/\text{s} \quad \text{eq 59}$$

Sendo **A_o** a área equivalente, calculada por:

$$1/A_o = 1/A_e^2 \times 1/A_s^2 \quad \text{eq 60}$$

A_e é a área de entrada do vento, e

A_s é a área de saída do vento.

V é a velocidade do vento corrigida para as características do tecido urbano, calculada (BS 5925 (1991)) por:

Terreno	k	A
Campo aberto plano	0,68	0,17
Campo com barreiras	0,52	0,20
Cidade (perfil horizontal)	0,35	0,25
Centro urbano	0,21	0,33

Tabela 8: Valores de correção para cálculo da velocidade do vento, propostos pela BS 5925 (1991).

$$V = V_{10} * k * z^A \quad \text{eq 61}$$

V_{10} é a velocidade do vento registrada no posto meteorológico, a 10 m de altura (m/s)

z é a altura do ponto onde se deseja determinar valor da velocidade do vento (m)

k e A parâmetros indicados na tabela 8, em função do perfil do terreno.

C_e e C_s são os coeficientes de pressão (C_p) de entrada e saída do vento no ambiente

As áreas de entrada e saída se caracterizam pela pressão positiva ou negativa nas fachadas e são função do ângulo de incidência do vento em cada fachada, como indicado na figura 78. Resultados obtidos em ensaios em tunel de vento (Sharag, (2006)) para situações onde inexistem obstruções, os valores dos coeficientes de pressão (C_p) para entrada (C_e) e saída do ar (C_s) podem ser extraídos do gráfico da Figura 78.

As obstruções do entorno provocam alterações nos coeficientes de pressão, podendo, muitas vezes, transformar áreas da fachada com C_p positivo (área de entrada do vento) em áreas de saída (com C_p negativo).

Na figura 79 está ilustrada a distribuição dos coeficientes de pressão nas quatro fachadas de uma edificação. Nessa figura observar que qualquer abertura localizada no ponto 1 será área de entrada do vento e aberturas localizadas nas demais fachadas serão áreas de saída do vento.

Para a determinação dos coeficientes de pressão, nos casos em que existam obstruções no entorno, pode-se adotar o seguinte procedimento (Sharag (2006)):

caso 1 – Obstrução perpendicular à direção do vento (ver figura 80) e cujo centro é ortogonal ao ponto de uma fachada para a qual se deseja calcular o valor de C_{pp} (obstrução 3 no figura 80): os valores de C_{pp} estimados com a equação 62:

Figura 78: Distribuição dos coeficientes de pressão (C_p) em fachada vertical em função da direção de incidência do vento (Sharag (2006)).

Figura 79: Exemplo de distribuição dos coeficientes de pressão (C_p) em função da direção do vento nas fachadas (extraídos da figura 34).

$$C_{pp} = C_0 * \sin\left(\frac{\alpha_h}{2}\right) * \sin(\alpha_v) + C_1 * \left(\cos\left(\frac{\alpha_h}{2}\right)\right)^{\sin(\alpha_v)} + C_2 * \ln\left(\cos(\alpha_v) \left(\sin\left(\frac{\alpha_h}{2}\right)\right)\right) \quad \text{eq 62 (58)}$$

$$C_0 = -0,8548$$

$$C_1 = 0,7677$$

$$C_2 = -0,6261$$

C_{pp} é o coeficiente de pressão quando a obstrução é perpendicular à direção do vento

α_v e α_h são os ângulos horizontal (planta) e vertical (corte) que caracterizam a obstrução (figura 80)

caso 2 – Obstrução perpendicular à direção do vento (ver figura 80), mas deslocada em relação ao ponto a ser analisado (obstruções 1 e 2): os valores de C_{pd} podem ser obtidos a partir do gráfico da figura 81, ou da equação 63. No gráfico da figura 82, as várias curvas (C_{pp} de 0,1 a 0,8) representam o valor de C_{pp} quando a obstrução não é deslocada, assim, por exemplo, se a obstrução 3 (figura 80) apresenta um C_{pp} de 0,5, ao ser deslocada de 40° passará a apresentar um C_{pd} de 0,6 (ver indicação do exemplo na figura 82).

$$C_{pd} = C_{pp} + C_3 * \sin(2 * \alpha_d) + C_4 * [\sin(2 * \alpha_d)]^2 + C_5 * \left(1 - e^{\sin(2 * \alpha_d) * C_{pp}}\right) \quad \text{eq 63 (59)}$$

$$C_3 = 0,5046$$

$$C_4 = 0,2216$$

$$C_5 = -0,4718$$

α_d é ângulo de deslocamento indicado na figura 80.

Figura 80: Esquema para identificação dos ângulos que definem os coeficientes de pressão de uma fachada para vento perpendicular à obstrução.

Figura 81: Gráfico para determinação dos coeficientes de pressão em função de α_v e α_h (ver figura 80).

caso 3 – Obstrução não é perpendicular à direção do vento. Neste caso deve ser identificada uma obstrução equivalente, que se comportaria como uma obstrução perpendicular à direção do vento (ver figura 83). Nesses casos o cálculo de C_p , agora denominado “ C_{pi} ”, pode ser calculado com a equação 64:

$$C_{pi} = C_0 * \sin\left(\frac{\alpha_{h(corr)}}{2}\right) * \sin(\alpha_{v(corr)}) + C_1 * \left(\cos\left(\frac{\alpha_{h(corr)}}{2}\right)\right)^{\sin(\alpha_{v(corr)})} + \dots + C_2 * \ln\left[\left(\cos(\alpha_{v(corr)})\right)^{\sin\left(\frac{\alpha_{h(corr)}}{2}\right)}\right]$$

eq 64

$$\alpha_{h(corr)} = \alpha_m * \cos\left(\frac{\alpha_h}{2}\right) \quad \text{eq 65}$$

α_m é o ângulo entre a direção do vento e o azimuth da obstrução (figura 83)

$$\alpha_{v(corr)} = \alpha_v * \cos(\alpha_{h(corr)}) \quad \text{eq 66}$$

Figura 82: Gráfico para determinação do coeficiente de pressão na fachada em função do ângulo de deslocamento da obstrução.

Figura 83: Definição de obstáculo equivalente para cálculo de C_{pi} .

caso 4 – Várias obstruções no entorno da edificação para a qual se deseja calcular o coeficiente de pressão de uma dada fachada (figura 84). Neste caso é necessário considerar os “vazios” (gaps) entre as obstruções, exatamente como se fossem “obstruções” (corrigindo a direção do vento e o deslocamento) como nos casos anteriores, e aplicando a equação 67 (ver figura 85).

$$C_p(\text{mult}) = (C_{pm1} * C_{pm2} * \dots)^{k1} + C_7 * \left(\frac{\cos(\alpha_{dg1}) + \cos(\alpha_{dg2}) + \dots}{n} \right)^{k2} + C_8 * \left(\frac{\cos(\alpha_{dg1}) + \cos(\alpha_{dg2}) + \dots}{m} \right)^{2 * k2} \quad \text{eq 67 (63)}$$

$$C_7 = 0,4810$$

$$C_8 = -0,5874$$

α_{dg} é o ângulo de deslocamento de cada gap

n é o número de obstruções vistas pelo ponto P

m é o número de “gaps” vistos pelo ponto P (dentro de um ângulo de 140°)

$$K1 = 1,0907$$

$$K2 = 1,8738$$

Nos casos em que o ambiente disponha só de uma abertura não ocorrerá ventilação cruzada, e a vazão “ ϕ_v ” deve ser estimada por:

$$\phi_v = 0,025 * V * A \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad \text{eq 68}$$

Quando coexistirem no mesmo ambiente a ventilação por efeito de vento e por efeito chaminé, a vazão final será:

$$\phi_f = [(\phi_v^2) + (\phi_{ch}^2)]^{0,5} \quad \text{eq 69}$$

Figura 84: Conjunto de obstruções no entorno da edificação (em vermelho) para a qual serão calculados os valores de C_p nas fachadas.

Figura 85: Esquema para identificação das obstruções e “vazios” que devem ser computados no cálculo do coeficiente de pressão no ponto P.

Considerando-se que o cálculo da temperatura interna (T_i) é o objetivo da presente metodologia (equação 30), e que a variável ΔT precisa ser isolada, o valor da parcela perdida por ventilação (por efeito vento) (K_v) pode ser definida por:

$$K_v = \phi_f \cdot 0,35 \cdot \Delta T \quad (\text{W}) \quad \text{eq 70}$$

Calculados os valores correspondentes ao ganho total de carga térmica (eq 33) e perda total de carga térmica (eq 47), é possível determinar o valor de “ ΔT ” (eq 32) e consequentemente estimar a temperatura do ar no interior do ambiente. Para isso, considerando que o ganho total da carga térmica (q) deve ser igual à perda (K) total dessa mesma carga, tem-se:

$$q = K \cdot \Delta T \longrightarrow \Delta T = q / K \longrightarrow \Delta T = (q_{RS} + q_P + q_{SI} + q_E) / (K_v + K_c)$$

O valor de “ ΔT ” aplicado na equação 32, permite o cálculo de T_i para todos os horários do dia típico de verão.

O gráfico da figura 86 ilustra a variação horária da temperatura do ar interior de um ambiente típico de escritório, para duas orientações distintas: leste e oeste. Ressalte-se que, no caso do exemplo, o ambiente permite ventilação por efeito chaminé e vento (vento incidente na fachada leste). Observar que o ambiente voltado para orientação leste, mesmo sem brise, no período de 8h às 17h, permanece em condições de conforto térmico.

4.2.3 Parâmetros para avaliação do condicionamento artificial

O parâmetro para avaliação do condicionamento artificial é o consumo de energia elétrica para manter as condições de conforto térmico dos usuários.

Nota :A NBR 6401 estabelece os limites de temperatura e umidade relativa do ar que caracterizam as condições de conforto em ambiente climatizado artificialmente.

Figura 86: Variação horária da temperatura do ar interior em um ambiente típico de escritório, em São Paulo, no verão, para fachadas de orientação leste e oeste.

É importante notar que o cálculo do consumo de energia proposto não se aplica para dimensionamento da capacidade do sistema de ar condicionado. Para isso deve-se considerar a hora mais quente do dia típico de verão.

A estimativa do consumo mensal de energia elétrica (CEE) (kWh/mês) para condicionamento artificial de um ambiente, deve ser feita com base nos valores médios, em 24 horas, dos ganhos e perdas de carga térmica pelo ambiente. A formulação geral para a determinação de “CEE”, proposta por Kusuda (1981), é:

$$CEE = \Sigma GH * K' * N_h * N_d / 1000 \quad (\text{kWh/mês}) \quad \text{eq 71 (67)}$$

CEE é o consumo mensal de energia elétrica (kWh/mês)

N_h é o número de horas de atividade ao longo do dia

N_d é o número de dias de atividade no mês

K' é a perda de carga térmica média em 24h, por condução e por ventilação

GH é a variável “grau-hora” definida com a diferença entre a temperatura de conforto desejada e a temperatura de base T_b, que expressa a temperatura de equilíbrio da edificação, ou seja, a temperatura na qual o ganho de carga térmica seria igual à perda de carga térmica.

A determinação das variáveis “K'” e “GH” estão indicadas a seguir:

$$K' = K'_v + K'_c \quad (\text{W/}^\circ\text{C}) \quad \text{eq 72 (68)}$$

K'_c é perda de carga térmica por condução

K'_v é a perda de carga térmica por ventilação

Basicamente, os ganhos e perdas de carga térmica, são os mesmos indicados anteriormente (item 4.2.1), com as seguintes alterações:

$$K'_c = A * U \quad (\text{W/}^\circ\text{C}) \quad \text{eq 73 (69)}$$

A é a área do componente

U é o coeficiente global de transmissão térmica (eq 35.)

$$K'_v = 0,35 * NP * TR \quad (\text{W/}^\circ\text{C}) \quad \text{eq 74}$$

NP é o número de usuários no ambiente
TR é a taxa de renovação do ar recomendada pela NBR 6401

A taxa de renovação de ar recomendada pela NBR 6401 (1980) é função das atividades realizadas no ambiente e estão descritas na tabela 9. Evidentemente as condições indicadas na tabela já não atendem a realidade atual, não só pela legislação que proíbe a presença de fumantes em locais fechados, mas pela ênfase que na última década vem sendo dada à questão da qualidade do ar (presença de particulados emitidos pelos próprios materiais de construção e revestimentos: tintas, carpetes, etc).

Na metodologia aqui proposta, até a aprovação da Norma ISO/DIS 16814 (2005), sugere-se a adoção dos valores recomendados pela NBR 6401 (1980).

Cálculo de GH

O valor de GH é definido por:

$$GH = T_{med} - T_b \text{ (}^\circ\text{C)} \text{ eq 75}$$

T_{med} é a temperatura média do mês

$$T_b = T_{conf} - q' / K' \text{ (}^\circ\text{C)} \text{ eq 76}$$

K' é a perda de carga térmica (calculada com eq 72)

T_{conf} é a temperatura de conforto que se deseja no interior do ambiente

q' é o ganho médio de carga térmica em 24h

$$q' = q_{Radmed} + q_{Pmed} + q_{SImed} + q_{Emed} \text{ (W)} \text{ eq 74}$$

q_{Radmed} é o ganho de carga térmica média em 24h devido à irradiação solar (direta e difusa)

q_{Pmed} é o ganho de carga térmica média em 24h devido às pessoas

q_{SImed} é o ganho de carga térmica média em 24h devido ao sistema de

Local	m ³ /h/pessoa		concentração de fumantes
	recomendável	mínimo	
bancos	17	13	ocasional
escritórios públicos	25	17	alguns
escritórios privados	42	25	nenhum
escritórios privados	51	42	considerável
lojas	17	13	ocasional
residências	35	17	alguns
salas de aula	50	40	nenhum
salas de reunião	85	50	muito grande
aplicações em geral			
por pessoa (não fumando)	13	8	-
por pessoa fumando	68	42	-

Tabela 9: Valores da taxa de renovação de ar nos ambientes condicionados recomendados pela NBR 6401 (1980).

iluminação artificial
qEmed é o ganho de carga térmica média em 24h devido aos equipamentos

O valor de qRadmed (ganho devido à irradiação solar) deve ser calculado para os componentes opacos e envidraçados usando as equações 34 e 39. Observar que o cálculo deve ser feito para valores horários de irradiação solar, consideradas as obstruções do entorno e a presença de brises nas aberturas do mesmo modo como estão tratadas no item 4.2.2. O valor de “qRadmed” será média dos 24 valores.

O valor de qPmed (ganho de carga térmica média em 24h devido às pessoas) será o valor calculado pela equação 44, com as seguintes correções:

$$qPmed = qP * Nh / 24 \quad \text{eq 75}$$

$$qP = NP * Ts \quad (W) \quad \text{eq 44}$$

NP é o número de usuários

Ts é a parcela relativa ao calor sensível (tabela 6)

Nh é o número de horas de atividade ao longo do dia

O valor de “qSImed” (ganho de carga térmica média em 24h devido ao sistema de iluminação artificial) será o valor calculado pela equação 45, com as seguintes correções:

$$qSImed = qSI * Nh / 24 \quad (W) \quad \text{eq 76}$$

$$qSI = A * PSI \quad (W) \quad \text{eq 45}$$

A é a área do ambiente

PSI é a densidade de potência do sistema de iluminação artificial instalado (W/m²)

Nh é o número de horas de atividade ao longo do dia

O valor de “qEmed” (ganho de carga térmica média em 24h devido aos equipamentos)

será o valor calculado pela equação 46, com as seguintes correções:

$$qE_{med} = qE * Nh / 24 \quad \text{eq 77}$$

$$qE = 0,6 * \Sigma (NE * PotE) \quad (W) \quad (\text{eq 46})$$

NE é o número de cada tipo de equipamento (computadores, impressoras, refrigerados, etc)

PotE é a potência de cada equipamento

A título de exemplo, considere-se um ambiente típico de escritório (São Paulo), com 20 m² de área, com as seguintes características:

- Período de ocupação: 8h às 17h
- Densidade de ocupação: 4m²/pessoa
- Relação vazio/cheio da fachada: 50%
- Sistema de iluminação artificial acionado durante todo o período de atividade
- Temperatura de conforto: 24°C

O consumo de energia elétrica estimado para o exemplo em questão será aquele descrito na figura 87.

Considerando as mesmas condições do exemplo anterior, se o sistema de iluminação artificial for acionado somente para complementar a iluminação natural, o consumo de energia elétrica estimado será aquele indicado na figura 88. Pode-se observar no referido gráfico que a presença da proteção solar nas aberturas promove uma economia de energia de 35% quando o ambiente tem orientação Norte, 54% para orientação leste, 10% na sul e 55% no caso do ambiente voltado para oeste.

Evidentemente, quando a proteção solar exterior é utilizada, ocorre uma redução da luz natural e o sistema de iluminação artificial deve ser acionado, implicando em aumento do ganho de carga térmica pelo sistema de iluminação artificial, mas, redução da carga térmica devido a penetração da irradiação solar. A comparação

Figura 87: Consumo de energia elétrica mensal estimado para um mesmo ambiente se orientado para quatro direções distintas, com proteção solar externa (brise) e sem proteção. Sistema de iluminação artificial acionado durante todo o período de atividade (verão, São Paulo)

Figura 88: Consumo de energia elétrica mensal estimado para um mesmo ambiente orientado para quatro direções distintas, com proteção solar externa (brise) e sem proteção. Sistema de iluminação artificial acionado somente para complementar a iluminação natural. (verão, São Paulo)

das duas situações permitirá ao projetista fazer a escolha mais adequada. Os gráficos das figuras 89 e 90 ilustram tal situação. Nesses gráficos é possível observar que, no caso analisado, a presença do brise é um recurso que implica na redução do consumo de energia elétrica, qualquer que seja a orientação das aberturas. Esta conclusão não pode ser extrapolada, uma vez que depende não só das características climáticas locais, como também das atividades realizadas no interior dos ambientes.

4.3 Desempenho acústico

O desempenho acústico de um ambiente é caracterizado pelo nível sonoro ao qual os usuários são submetidos. Em função do tipo de atividade, o nível sonoro para garantir as condições de conforto acústico dos usuários é estabelecido pela NBR 10152 (1987) conforme exemplifica a tabela 10. Os intervalos apresentados na referida tabela, na coluna “dB(A)”, indicam o limite inferior como de conforto e o superior como “aceitável para a finalidade”. O nível sonoro expresso em “dB(A)” representa a integração do nível de pressão acústica, por frequência, da energia sonora presente no ambiente.

Para cada valor do nível sonoro (em dB(A)) estabelecido na referida Norma, é também estabelecido o valor de “NC” (Noise Criteria) que descreve o espectro correspondente (ver figura 91). Por exemplo, para uma sala de aula, onde o nível sonoro máximo aceitável é de 50dB(A), o espectro correspondente a tal valor seria descrito pela curva NC=45 (valor superior) (ver tabela 10). A descrição dessa curva está indicada no gráfico da figura 91. A importância das curvas NC reside no fato de permitirem a avaliação e a correção de um ruído por frequência, o que não seria possível se considerado apenas o valor “resumo” em dB(A).

De um modo geral, o ruído aéreo registrado no interior dos ambientes é proveniente de fontes internas ao edifício e fontes externas. O controle das fontes internas, em geral, pode ser equacionado com o isolamento das partições internas.

Em área urbana, o tráfego de veículos (pesados e/ou leves) é uma das principais

Figura 89: Consumo estimado de energia elétrica pelo sistema de ar condicionado e pelo sistema de iluminação artificial, para ambientes com proteção solar externa (brise).

Figura 90: Consumo estimado de energia elétrica pelo sistema de ar condicionado e pelo sistema de iluminação artificial, para ambientes sem proteção solar externa (brise).

fontes de ruído no interior dos ambientes, exigindo muitas vezes, o fechamento das janelas e conseqüente prejuízo da ventilação natural.

Esse conflito de funções das aberturas deve ser identificado nos momentos iniciais do processo de projeto das edificações.

4.3.1 Critérios de avaliação

No âmbito do presente trabalho, a metodologia proposta tem por objetivo identificar as situações em que existe a necessidade de fechamento das janelas devido ao excesso de ruído proveniente do tráfego local. Tal identificação exige a determinação do valor do nível sonoro que atinge as fachadas e sua comparação com os limites estabelecidos pela legislação brasileira. Para a Norma Brasileira 10151 (2000), o valor limite do nível sonoro em área de “uso misto com vocação comercial e administrativa” é de 60 dB(A) para o período diurno e 55 dB(A) para período noturno. Nessa mesma Norma, em área de uso misto com “predominância residencial” os valores são de 55 dB(A) (diurno) e 50 dB(A) (noturno)

Nota: Para outros tipos de uso mencionados na NBR 10151, ver anexo I.

A Norma Técnica L11.032 (1992) da CETESB, para áreas externas, também estabelece o valor de 60 dB(A) para áreas denominadas “diversificadas (residência, comércio e indústria)”, no período de 7h às 19h, mas reduz esse valor a 55dB(A) para o período de 19h às 22h e 50 dB(A) para o período das 22h às 7h.

Nota: Para outros tipos de uso mencionados na NT CETESB L1103 (1992), ver anexo 2.

Na metodologia aqui proposta são adotados os valores da NBR 10151 (2000)

Considerando, por exemplo, que o valor limite estabelecido pela NBR 10151 para áreas de uso misto (com vocação comercial e administrativa) é 60 dB(A), pressupõe-se que as janelas devam permanecer fechadas quando esse nível é ultrapassado.

Locais	dB(A)	NC
Escritórios		
Salas de reunião	30-40	25-35
Salas de computadores	45-65	40-60
Residências		
Dormitórios	35-45	30-40
Salas de estar	40-50	35-45
Escolas		
Salas de aula	40-50	35-45
Igrejas/templos	40-50	35-45

Tabela 10: Valores dos níveis sonoros recomendados pela NBR 10152 (1987).

Figura 91: Distribuição do nível de pressão sonora (dB), por frequência, correspondente a NC 45 (NBR 10152)

Assim, no processo de desenvolvimento do projeto arquitetônico, a decisão de não fazer uso do condicionamento artificial (mas sim da ventilação natural) fica totalmente comprometida se o nível sonoro observado na fachada é superior aos 60 dB(A). Conhecer tal variável implica em alterações profundas no projeto arquitetônico e no consumo de energia elétrica.

4.3.2 Parâmetros de avaliação

O valor do nível sonoro em um dado ponto da fachada de uma edificação é função (figura 92):

- da posição do ponto na fachada;
- dos trechos de pistas que podem ser “vistos” por esse ponto;
- do número de veículos por hora que circulam nas pistas;
- da velocidade dos veículos;
- da porcentagem de veículos leves e pesados;
- da inclinação das pistas;
- da existência de obstruções no entorno da edificação;
- da presença de barreiras;
- da posição relativa das obstruções (em relação ao ponto da fachada)

O procedimento de cálculo para determinação do valor do nível sonoro (**L**) (em dB(A)) num ponto escolhido na fachada inclui os seguintes passos:

1. Estimar o nível sonoro (L_c) na borda da calçada;
2. Comparar o L_c obtido em (1) com a curva padrão (medida pelo IPT);
3. Corrigir o valor de L_c (1) com a curva padrão (2);
4. Calcular nível sonoro na fachada (L_f) devido à fonte sonora direta (tráfego);
5. Transformar L_f em pressão sonora (Pascal), corrigido para o trecho de pista vista pela fachada;

Figura 92: Parâmetros que definem o nível sonoro num dado ponto da fachada da edificação.

6. Calcular a pressão sonora na fachada (pv) devido às obstruções;
7. Calcular soma das pressões sonoras (direta + refletida) (6);
8. Calcular o nível sonoro final (L) na fachada
9. Comparar o resultado (L) com o valor recomendado pela NBR 10151

Cada um dos passos listados acima está detalhado a seguir.

Passo 1: Estimar o nível sonoro (Lc) na borda da calçada (dB(A))

O nível sonoro (Lc) na borda da calçada pode ser definido pela equação 47, sugerida por Josse (1975). Cabe aqui uma ressalva: a formulação da equação 47 é resultado de ensaios realizados pelo autor, na década de 70, o que poderia gerar a dúvida quanto às características atuais dos veículos, com certeza distintas dos veículos de 30 anos atrás. No entanto, comparados os resultados obtidos com a aplicação da equação 47 e dados obtidos por Calixto (2003)¹⁹ rodovias brasileiras, observou-se que a equação 47 é ainda absolutamente adequada, como indica o gráfico da figura 93.

$$L_c = 52 + 10 \cdot \log(Q/d) + cv + ci + cp \quad (\text{dB(A)}) \quad \text{eq 78}$$

- Lc é o nível sonoro na borda da calçada
Q é o número de veículos por hora
d é a distância entre o eixo da pista e a borda da calçada (m) (ver figura 97)
cv é a correção (em dB(A)) devido a velocidade média dos veículos, que assume os valores da figura 94, ou da equação 49:

$$cv = 0,1498 \cdot vel - 8,9785 \quad (R=0,99) \quad \text{eq 79 (48)}$$

¹⁹ Resultados de medidas realizadas por Del Carlo e Ovídio (2006) na área urbana de São Paulo confirmam a aplicabilidade da equação 47.

Figura 93: Valores do nível sonoro (dB(A)), obtidos por Josse (1975) em Paris e, Calixto (2003), em Curitiba.

Figura 94: Valores de correção (cv) no nível sonoro na borda da calçada em função da velocidade dos veículos (equação 47)

vel é a velocidade média dos veículos

ci é a correção (em dB(A)) devido a inclinação da pista, que assume os valores da figura 95 ou da equação 80;

$$ci = 0,5 * i \quad (R=1) \quad \text{eq 80}$$

i é a inclinação da pista (%)

cp é a correção (em dB(A)) devido a porcentagem de veículos pesados, que assume os valores da figura 96 ou da equação 81;

$$cp = 0,0754 * p - 0,5459 \quad (R=0,99) \quad \text{eq 81}$$

p é porcentagem de veículos pesados

A título de exemplo, observar o resultado da aplicação da equação 78 no caso de uma via com as características descritas no esquema da figura 97, adotando-se:

- Distância do eixo da pista até a calçada (d na figura 53) = 7,5 m
- Número de veículos por hora = 2000 veíc/h
- Velocidade média = 70 km/h
- % de veículos pesados = 10%
- Inclinação da pista = 2%

Na borda da calçada (Pc na figura 97) , o nível sonoro, aplicando-se a equação 78, seria de:

$$Lc = 52 + (2000/7,5) + 1,5 + 1,0 + 0,2 = 79 \text{ dB(A)}$$

Passo 2: Comparar o Lc obtido em (1) com a curva padrão (medida pelo IPT)

Conhecido o valor de Lc, este deve ser comparado com o valor padrão da curva que descreve o ruído típico de uma via com 2000 veículos/hora, já medido pelo IPT (1985??) (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo) (ver tabela 11). Tal comparação se faz necessária por que o valor único identificado pelo Lc deve ser

Figura 95: Valores de correção (ci) no nível sonoro na borda da calçada em função da inclinação da pista (equação 47).

Figura 96: Valores de correção (cp) no nível sonoro na borda da calçada em função da porcentagem de veículos pesados (equação 47).

conhecido por frequência (de 125 Hz a 4000 Hz). Para tornar possível a comparação do L_c calculado (79 dB(A)) com os valores indicados (por frequência) na tabela 11, faz-se necessário transformar os valores em dB(A) nos correspondentes valores de “nível de potência sonora” (W), como indica a equação 82:

$$L_c = 10 \cdot \log (W/W_o) \quad \text{em dB(A)} \quad \text{eq 82 (51.a)}$$

W é a potência sonora da fonte de ruído (Watts)

W_o é a potência sonora de referência, sendo seu valor:

$$W_o = 10^{-12} \quad (\text{Watts})$$

Portanto o valor procurado (**W**), será:

$$W = 10^{\left(\frac{L_c}{10}\right)} * 10^{-12} \quad (\text{Watts}) \quad \text{eq 83 (51.b)}$$

No caso do exemplo em questão, os níveis de potência sonora correspondente aos valores de L_c (do IPT), por frequência, serão aqueles indicados na tabela 12.

Passo 3: Corrigir o valor de L_c (1) com a curva padrão (2)

Uma vez transformados em potência sonora, é possível determinar o valor total da potência sonora (somando os valores em Watts para todas as frequências) e voltar à equação 82 para determinar o nível sonoro equivalente.

No caso do exemplo em questão, a soma total das potências será de 0,000093 (W), o que resultará em um nível sonoro de:

$$L_{cp} = 10 \cdot \log(0,000093/10^{-12})$$

$$L_{cp} = 10 \cdot \log\left(\frac{0,000093}{10^{-12}}\right) \text{ dB(A)} = 79,7 \text{ dB(A)}$$

Figura 97: Desenho esquemático para aplicação da equação 78.

Tipo de via	Frequência (Hz)		
	125	250	500
expressa/10.000 veíc/h	83	82	80
expressa/4.000 veíc/h	77	76	74
coletora/2000 veíc/h	75	74	72
coletora/1000 veíc/h	71	70	68
coletora/500 veíc/h	68	67	65
local/250 veíc/h	65	64	62
local/100 veíc/h	61	60	58
local/50 veíc/h	58	57	55

Tabela I I: Distribuição dos valores em dB(A), por frequência, para distintos tipos de vias (medidas realizadas pelo IPT (1985))

L_{cp} é o nível sonoro na borda da calçada para a curva padrão (dB(A))

O valor de L_{cp} representa um acréscimo de 0,7 dB(A) em relação ao valor calculado de 79 dB(A) para L_c. Dessa forma, é possível corrigir o valor de L_c, para cada frequência, acrescentando a diferença de 0,7 dB(A). Os valores de L_c corrigidos (L_{cc}) serão aqueles indicados na tabela 13.

Passo 4: Transformar L_f em pressão sonora (Pascal), corrigido para o trecho de pista vista pela fachada

Na face externa da fachada da edificação (Pf na figura 97), o nível sonoro será, evidentemente, menor do que o nível sonoro na borda da calçada, uma vez que, a distância entre a fachada e a fonte do ruído é maior que a distância entre a borda da calçada e a fonte. A variação do nível sonoro em função da distância é dada pela equação 84, mas sua resolução deve ser feita em dB. A transformação de dB(A) em dB exige a aplicação do filtro descrito na tabela 13. Observar que aos valores em dB(A) devem ser somados os valores indicados no filtro, por frequência.

$$L_f = L_c - 10 \cdot \log((d/D)) \quad (\text{dB}) \quad \text{eq 84 (52)}$$

d é a distância entre o eixo da pista e a borda da calçada

D é a distância entre a borda da calçada e o ponto na fachada, sendo

$$D = \sqrt{H^2 + dA^2} \quad \text{eq 85 (53)}$$

H é a altura do ponto na fachada (m) (ver figura 97)

dA é a distância entre a borda da calçada e a edificação (m) (figura 97)

No caso do exemplo, admitindo-se que o ponto da fachada a ser analisado está a 10,5 m do solo (mesmo nível da calçada) e a edificação está a 19,5 m da borda da calçada, tem-se, para 500Hz:

$$H = 10,5 \text{ m}$$

Frequência (Hz)	Potência sonora (W)
125	3.16E-05
250	2.51E-05
500	1.58E-05
1000	1.00E-05
2000	7.94E-06
4000	2.51E-06

Tabela 12: Valores de potência sonora, por frequência, correspondentes ao nível sonoro produzido por 2000 veículos/hora.

Frequência (Hz)	L _{cp} (dB(A))	L _{cc} (dB(A))	Filtro	L _c (dB)
125	75	74.3	16	90.3
250	74	73.3	9	82.3
500	72	71.3	3	74.3
1000	70	69.3	0	69.3
2000	69	68.3	1	69.3
4000	64	63.3	1	64.3

Tabela 13: Valores do nível sonoro corrigidos (L_{cc}) (dB(A)) a partir da curva padrão (L_{cp}) (dB(A)). Valores do filtro que transformam dB(A) em dB. Coluna L_c indica os valores do nível sonoro na borda da calçada em dB.

$$dA = 19,5$$

$$D = 22,15 \text{ m}$$

$$d = 7,5 \text{ m}$$

$$L_f(500\text{Hz}) = 74,3 \text{ (dB) (tabela 13)}$$

$$L_f = 74,3 - 10 \cdot \log((7,5/22,15)) = 69,6 \text{ (dB)}$$

Para as demais frequências, os valores do nível sonoro (em dB) no ponto da fachada em questão, estão resumidos na tabela 13. Ressalte-se, no entanto, que o cálculo acima refere-se a um ponto da fachada que “vê” toda a extensão da via A (ver figura 97). Nos casos em que a fachada da edificação que se deseja estudar esta inclinada em relação ao eixo da via que gera o ruído, o ponto “Pf” da fachada “verá” a pista apenas parcialmente, como indicado na figura 98.

Passo 5: Transformar L_f em pressão sonora (Pascal)

Admitindo que na figura 98 apenas a via C gera ruído, o ponto Pf da fachada receberá o ruído a partir do ponto C. Dessa forma, o valor de L_f deverá ser corrigido a partir do cálculo do nível de pressão sonora em Pf, uma vez que essa variável permite considerar o ângulo de inclinação da via em relação à fachada. A equação 86 expressa o cálculo do nível de pressão sonora:

$$L_f = 10 \cdot \log(p/p_o)^2 \text{ (dB) eq 86 (54.a)}$$

p é a pressão sonora em Pf (Pascal)

p_o é a pressão sonora de referência, sendo seu valor igual a $2 \cdot 10^{-5}$ (Pascal)

Observar que a partir dos valores de L_f já calculados acima (por frequência), a aplicação da equação 86 permite determinar os valores da pressão sonora no ponto Pf da fachada. A equação 54.a, então, ficará:

Frequência (Hz)	L_f (dB)
125	85.6
250	77.6
500	69.6
1000	64.6
2000	64.6
4000	59.6

Tabela 4: Valores do nível sonoro (em dB) obtidos na altura 10,5 m na fachada.

Figura 98: Desenho esquemático para calcular o nível sonoro (em dB) no ponto Pf de uma fachada não paralela à via que gera o ruído.

$$p^2 = 10^{\left(\frac{L_f}{10}\right)} * (2 * 10^{-5}) \quad (\text{Pascal}) \quad \text{eq 87 (54.b)}$$

Na tabela 15 estão indicados os valores de pressão sonora (por frequência), correspondentes aos valores de L_f calculados acima.

Nos casos em que a fachada da edificação não é paralela ao eixo da via, como na figura 98, a energia sonora recebida num dado ponto da fachada será proporcional ao trecho da via “visto” pelo ponto (Pf). No caso da figura mencionada, a pressão sonora em “Pf” será correspondente ao trecho da via C que se inicia no ponto “C”. O valor da pressão sonora em “Pf” será, segundo Josse (1975):

$$p^2 = \frac{(W * c_o * \delta)}{2 * d} * \frac{\theta}{\pi} \quad (\text{Pa}) \quad \text{eq 88 (55)}$$

W é a potência da fonte sonora (conjunto dos veículos)

Nota: O valor da potência sonora deve ser calculado a partir do nível sonoro (em dB) (passo 4), segundo a equação 83.

δ é a densidade do ar (1,18 kg/m³, para pressão atmosférica de 10⁵ Pascal e temperatura de 22°C)

C_o é a velocidade do som (345 m/s)

θ é o ângulo sob o qual o trecho da via é vista. Observar que, na figura 98, o ângulo θ será igual a (180 – $\hat{\alpha}$). No caso da edificação paralela à pista, o ângulo θ tem valor 180° (ou π).

d é a distância entre o ponto da fachada (Pf) e o eixo da via (Figura 98).

Observar que com o valor da pressão acústica (p^2) é possível determinar o valor do nível sonoro (em dB), a partir da equação 86.

Frequência (Hz)	p (Pascal)
125	0.38
250	0.15
500	0.06
1000	0.03
2000	0.03
4000	0.02

Tabela 15: Valores de pressão sonora na fachada, em ponto localizado a 10,5 m de altura.

Figura 99: Variação do nível sonoro em ponto da fachada localizado a 10,5 m de altura (em relação à cota da calçada), em função da inclinação da fachada com relação ao eixo da via.

O gráfico da figura 99 indica a variação do nível sonoro em dB(A) no ponto Pf da fachada (no caso do exemplo) em função do ângulo de inclinação da fachada da edificação em relação ao eixo da pista.

Além da inclinação da fachada com relação ao eixo da pista, a presença de obstruções no entorno também alteram o nível sonoro resultante em qualquer ponto da fachada. Esta alteração pode ser estimada com base no valor da variável “pressão acústica” descrita pela equação 88.

Passo 6: Calcular a pressão sonora na fachada (pv) devido às obstruções

Nos casos em que as vias são cercadas por edificações nos dois lados, formando os característicos “canyons” urbanos, ocorre uma amplificação do ruído gerado pelos veículos que decorre da reflexão das ondas sonoras nas obstruções. Josse (1975), citando resultados de medidas em “canyons” típicos franceses, afirma que o acréscimo no nível sonoro nessas áreas pode chegar a 10dB(A), dependendo da absorção sonora da área e da relação entre a altura das edificações (assumidas iguais) e a largura do “canyon”. (figura 100).

Nos últimos dez anos são inúmeros os pesquisadores²⁰ que tem realizado medidas de campo e/ou proposto programas computacionais que estimam o efeito do cânion urbano no ruído de tráfego. Para efeito da presente metodologia, admitiu-se que qualquer obstrução no entorno de uma edificação caracteriza um “espelho” para a fonte de ruído real, amplificando assim o ruído da fonte geradora (veículos) (ver figura 101). A fonte virtual se localiza (em relação à fachada da obstrução ou barreira) à distancia igual à distancia entre o eixo da “via A” e a obstrução (Figura 101). O ponto Pf da fachada em estudo receberá portanto a contribuição da “via real” e da “via virtual”. Com relação à fonte virtual, a pressão sonora será:

²⁰ Fothergil (1977); De Sallis()2002; Heutshi() 1995 Renterghem et alii (2006); Janczur et alii (2006,2001); Calixto (2003) e +....

Figura 100: Acréscimo do nível sonoro (dB(A)) em “canyons” urbanos (em relação aos valores medidos em áreas sem edificações). (Josse (1975))

Figura 101: Localização da fonte sonora virtual decorrente da presença de obstrução

$$p_{v^2} = \frac{(W * c_o * \delta)}{2 * d_{ob}} * \frac{\theta_{ob}}{\pi} \quad (\text{Pa}) \quad \text{eq 89}$$

θ_{ob} é o ângulo entre o ponto Pf e a obstrução (figura 101)

d_{ob} é a distância entre o ponto Pf e o eixo da via virtual (reta PfZ na figura 101)

Passo 7: Calcular soma das pressões sonoras (direta + refletida)

Calculados os valores da pressão sonora para a fonte real (p) e para a fonte virtual (pv), o valor total no ponto da fachada em estudo será, então, a soma de tais pressões (pt):

$$p_t^2 = p^2 + p_v^2 \quad (\text{Pa}) \quad \text{eq 90}$$

p_t é a pressão acústica total (Pa)

p é a pressão acústica devida à fonte real (Pa) (equação 88)

p_v é a pressão acústica devida à fonte virtual (Pa) (equação 88)

Observar que a equação 90 deve ser aplicada a cada frequência do espectro (125 Hz a 4000 Hz).

Passo 8: Calcular o nível sonoro final (L) na fachada (em dB(A))

Conhecido o valor da pressão sonora total no ponto Pf da fachada, a aplicação da equação 54.a permite estimar o nível sonoro resultante (L), em d(B):

$$L = 10 * \log(p_t / p_o)^2 \quad (\text{d(B)}) \quad \text{eq 91}$$

Figura 102: Nível sonoro de referência para três classes de veículos em função da velocidade média (Bistafa, 2006)

p_t é a pressão sonora resultante em Pf (Pascal)
 p_o é a pressão sonora de referência, sendo seu valor igual a $2 * 10^{-5}$ (Pascal)

Para possibilitar a comparação com os níveis sonoros recomendados pela NBR 10151 (2000) que são estabelecidos em dB(A), aos valores determinados na equação acima deve ser aplicado o filtro (tabela 12) que permite a determinação do nível sonoro resultante em dB(A). Tal procedimento é o mesmo indicado no “passo 4”.

Nota: Recomenda-se que no caso de edifícios com mais de três andares, os valores do nível sonoro resultante sejam determinados para o pavimento térreo e o pavimento superior.

Passo 9: Comparar o resultado (L) com o valor recomendado pela NBR 10151

Valores de nível sonoro (calculados no “passo 8”) maiores que 60dB(A), em área de uso misto (residencial + comercial + industrial), por exemplo, indicarão aos projetistas que devem ser dimensionadas soluções que promovam a redução do nível sonoro no interior do ambiente. Entre tais soluções, destacam-se:

- implantação da edificação no terreno que evite a exposição das aberturas às fontes sonoras importantes;
- uso de revestimentos internos de alta absorção acústica (lembrando que a absorção pode ser responsável por, no máximo 10dB(A)²¹ de redução no nível sonoro);
- aberturas de ventilação com tratamento acústico (chicanas);
- fechamento total das janelas (isolamento acústico), o que implica necessariamente em condicionamento artificial.

²¹ Indicação dada pelo prof José Fernando Cremonesi (FAUUSP)

Procedimento de cálculo do ruído de tráfego segundo FHWA (Federal Highway Administration)

Segundo Bistafa (2006), o procedimento de cálculo para determinação do nível sonoro ($L_{eq}(h)$) decorrente do ruído de tráfego proposto pela Administração Rodoviária Federal dos Estados Unidos (FHWA), pode ser determinado por:

$$L_{eq}(h)_i = \bar{L}_o + 10 \log \left(\frac{N_i}{V_i T} \right) + 10 \log \left(\frac{15}{s} \right)^{1+\alpha} + A_{comb} \text{ (dB(A))} \quad \text{eq 92 (59)}$$

$L_{eq}(h)_i$ é o nível sonoro equivalente horário do i-ésimo tipo de veículo (dB(A))

$\bar{L}_o$ é o nível sonoro de referência para o i-ésimo tipo de veículo, descritos na figura 58 (dB(A))

N_i é o número de veículos de i-ésimo tipo, no intervalo de $T=1$ hora

V_i é a velocidade média do i-ésimo tipo de veículo (km/h)

T é o tempo para o qual se deseja calcular o nível sonoro (horas)

s é a distância (perpendicular ao eixo da pista) até o receptor (m)

A_{comb} é o efeito combinado de diferentes formas de atenuação (pisos, barreira, etc)

α é o fator de absorção que depende da cobertura do solo (0,5 para cobertura com vegetação e “zero” para piso pavimentado).

A equação 59 deve ser aplicada três vezes: para automóveis, para caminhões leves e caminhões pesados. Os valores do nível sonoro assim obtidos devem ser adicionados segundo a equação 60:

$$L_{eq_{total}} = 10 \log \left(10^{L_a/10} + 10^{L_{cl}/10} + 10^{L_{cp}/10} \right) \text{ dB(A)} \quad \text{eq 93 (60)}$$

$L_{eq_{total}}$ é o nível sonoro resultante (do conjunto de veículos)

L_a é o nível sonoro gerado pelos automóveis

L_{cl} é o nível sonoro gerado pelos caminhões leves

L_{cp} é o nível sonoro gerado pelos caminhões pesados

O gráfico da figura 103 indica os resultados obtidos com o procedimento indicado anteriormente (equação 93) e os valores obtidos com o procedimento proposto por Josse, 1975, equação 78, nas mesmas condições:

- 2000 automóveis (sem veículos pesados)
- Absorção do entorno (α) = 0
- Distância do receptor = 25 m
- Intervalo de tempo = 1 hora

A diferença média obtida com os dois modelos apresentados é de 5,2 dB(A), o que poderia ser explicado pela melhoria tecnológica dos veículos mais modernos. No entanto, no gráfico da figura 103 é possível observar que veículos brasileiros, em medidas realizadas por Calixto (2003) em rodovias brasileiras, apresentam valores superiores àqueles observados em pistas americanas, e mas próximos dos registros realizados na França na década de 70.

Nota: Os dados divulgados por Calixto et al. (2003) só apresentam resultados para velocidade de 55 km/h.

Figura 103: Nível sonoro a 30 m de distância do eixo da pista, determinado com modelo proposto pela FHWA e Josse (1975).

5. Considerações finais

A metodologia (TAO) proposta neste documento pode ser considerada inovadora por diferentes razões:

- reúne em um só método as questões do conforto térmico, acústico, luminoso e energético da edificação;
- permite ao projetista avaliar, em tempo real, as alterações que ocorrem no desempenho da edificação quando qualquer item do projeto arquitetônico é alterado;
- propõe uma sistemática de avaliação baseada em critérios de desempenho que pode ser questionados (aceitos ou modificados) pelos arquitetos e/ou pela parte contratante;
- propõe critérios de avaliação de desempenho que, a curto prazo, podem passar a fazer parte de editais para contratação de projeto, como por exemplo, a limitação dos períodos de tempo mínimos durante os quais a luz natural deve ser aproveitada nos ambientes da edificação;
- permite transparência ao processo de desenvolvimento do projeto, na medida em que fornece um relatório com as justificativas das decisões tomadas ;
- permite identificar a responsabilidade pelas decisões tomadas no desenvolvimento do projeto, uma vez que, freqüentemente, a escolha de componentes construtivos e/ou alternativas de climatização, são impostas aos projetistas;
- a médio prazo, a metodologia poderá incorporar parâmetros para estimativa dos custos associados a cada alternativa de projeto.

Cabe ressaltar que a aplicação da metodologia aqui sugerida não elimina a necessidade de avaliações mais detalhadas, em cada uma das áreas específicas.

TAO: uma metodologia para implantação de edificação
Márcia Peinado Alucci
Departamento de Tecnologia da FAUUSP 2007

Em última análise, esta metodologia (TAO) pretende ser um guia de projeto: parte da proposta do arquiteto, analisa resultados e estimula inovações. Em hipótese nenhuma pretende engessar a criatividade do arquiteto ou prescrever soluções.

Disponibilizar o software “TAO” na pagina eletrônica da FAUUSP, para uso publico, expressa nosso desejo de contribuir para as discussões que se fazem necessárias quanto ao ato de “fazer arquitetura”, não só no Brasil. Expressa, acima de tudo, o desejo de ver reunidos **o projeto e a tecnologia**.

6. Referências bibliográficas

AKUTSU, M.; SATO, N.; PEDROSO, N. **Desempenho Térmico de Edificações Habitacionais e Escolares: Manual de Procedimentos para Avaliação**. São Paulo: IPT, 1987.

ALLARD, F. **Natural Ventilation in Buildings: A Design Handbook**. James & James Science Publishers. London, 1998.

ALUCCI, M. P. **Conforto Térmico, Conforto Luminoso e Conservação de Energia Elétrica: Procedimentos para Desenvolvimento e Avaliação de Projeto de Edificação**. Tese Doutorado – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

ALUCCI, M. P. **Recomendações para Adequação de uma Edificação ao Clima, no Estado de São Paulo (2vol)**. São Paulo, FAUUSP, 1981.

ALUCCI, M. P. (Coord); LONGO, C.; INOUE, M. **Banco de Dados: Características Térmicas, Acústicas e Luminosas de Vidros e Policarbonatos** (Apoio FAPESP e CNPQ). São Paulo: FAUUSP, 1997 (Disponível em <http://usp.br/fau/deptecnologia/docs/bancovidros/index.html>)

ALUCCI, M. P. **Software “Climaticus”**(2005). São Paulo: Fauusp, 2005. (Disponível em <http://www.usp.br/fau/ensino/graduacao/disciplinas/paginas/conforto.html>)

ALUCCI, M. P. **Vidros e Policarbonatos na Arquitetura**. CECACE-FUPAM, São Paulo, 2001.

ALUCCI, M. P. **Manual para Dimensionamento de Aberturas e Otimização da Iluminação Natural na Arquitetura**. São Paulo: FAUUSP, 2006.

TAO: uma metodologia para implantação de edificação
Márcia Peinado Alucci
Departamento de Tecnologia da FAUUSP 2007

ALUCCI, M. P. (Coord), CARNEIRO, C. DE M., BARING, J. G. A. **Implantação de Conjuntos Habitacionais: Recomendações para Adequação Climática e Acústica.** São Paulo: IPT, 1986.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE & ASHRAE. **Thermal Environment Conditions for Human Occupancy**, Ansi/Ashrae 55-2004.

ANDER, G. D. **Daylighting. Performance and Design.** New York: Van Nostrand Reinhold, 1995.

ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **Handbook of Fundamentals.** Atlanta: Ashrae, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT: NBR 6401 – Instalações Centrais de Ar Condicionado para Conforto: Parâmetros Básicos de Projeto – Procedimentos.** Rio de Janeiro, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT: NBR 15215-2 – Iluminação Natural – Parte 2: Procedimento de Cálculo para Estimativa da Disponibilidade de Luz Natural.** Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT: NBR 10152 – Níveis de Ruído para Conforto Acústico.** Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT: 10151 – Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas Visando o Conforto da Comunidade.** Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT: NBR 5413 – Iluminância de Interiores.** Rio de Janeiro, 1982.

TAO: uma metodologia para implantação de edificação
Márcia Peinado Alucci
Departamento de Tecnologia da FAUUSP 2007

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT: NBR 15220-2 – Desempenho Térmico de Edificações. Parte 2: Métodos de Cálculo da Transmitância Térmica, da Capacidade Térmica, do Atraso Térmico e do Fator Solar de Elementos e Componentes de Edificações.** Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT: NBR 6123 – Forças Devidas ao Vento em Edificações.** Rio de Janeiro, 1988.

ATHIENITS, A. K.; TZEMPELIKOS, A. **A Method for Simulation of Daylight Room Illuminance Distribution and Light Dimming for a Room with a Controlled Shading Device.** Solar Energy, 4, 271-281, 2002.

AVSAR, Y.; GONULLU, M. T. **Determination of Safe Distance Between Roadway and School Buildings to Get Acceptable School Outdoor Noise Level by Using Noise Barriers.** Building and Environment, 40, 1255-1260, 2005.

BATURIN, V. V. **Fundamentos de Ventilación Industrial.** Barcelona. Editorial Labor, 1976.

BECK, A.; KÖRNER, W.; GROSS, O.; FRICKE, J. **Making Better Use of Natural Light with a Light-Redirecting Double-Glazing System.** Solar Energy, 66, 215-221, 1999.

BISTAFA, S. R. **Acústica Aplicada ao Controle de Ruído.** São Paulo. Edgar Blücher, 2006.

BITTENCOURT, L. **Uso das Cartas Solares. Diretrizes para Arquitetos.** Maceió. Edufal, 1990.

BLESSMANN, J. **Aerodinâmica das Construções.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1990.

TAO: uma metodologia para implantação de edificação
Márcia Peinado Alucci
Departamento de Tecnologia da FAUUSP 2007

BRITISH STANDARD INSTITUTION. **BSI-BS 5250: Code of Basic Data for the Design of Buildings: The Control of Condensation in Dwellings.** London, 1985.

BRITISH STANDARD INSTITUTION. **BSI-BS 5925: Code of Practice for Ventilation Principles and Designing for Natural Ventilation.** London, 1991.

BRITISH STANDARD INSTITUTION. **BSI-BS 8206: Lighting for Buildings. Part I: Code of Practice for Artificial Lighting.** London, 1985.

BRITISH STANDARD INSTITUTION. **BSI-DD 73: Basic Data for the Design of Buildings: Daylight.** London, 1982.

BRITISH STANDARD INSTITUTION. **BSI-DD 63: Basic Data for Design of Buildings: Sunlight.** London, 1980

BROWN, G. Z.; DEKAY, M. **Sol, Vento & Luz: Estratégias para Projeto de Arquitetura.** Porto Alegre: Bookman, 2004.

BRUNGER, P. A.; HOOPER, C. F. **Anisotropic Sky Radiance Model Based on Narrow Field of View Measurements of Shortwave Radiance.** Solar Energy, 51, 53-64; 1993.

CALIXTO, A.; DINIZ, B.; ZANNIN, P. H. T. **The Statistical Modeling of Road Traffic Noise in a Urban Setting.** Cities, 20 (1), 23-29, 2003.

CAPELUTO, I. G. **The Influence of the Urban Environment on the Availability of Daylighting in Office Buildings in Israel.** Building Environment, 38, 745-752, 2003.

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT (CSTB). **Règles de Calcul de Caracteristiques Thermiques Utiles des Parois de Construction.** (Document Technique Unifié, Reef 58). Paris, 1977.

TAO: uma metodologia para implantação de edificação
Márcia Peinado Alucci
Departamento de Tecnologia da FAUUSP 2007

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT (CSTB). **REEF 58-Hygrothermique et Ventilation (D%)**. Paris, 1958.

CHAIN, C.; DUMORTIER, D.; FONTOYNONT, M. **A Comprehensive Model of Luminance, Correlated Colour Temperature and Spectral Distribution of Skylight: Comparison with Experimental Data**. Solar Energy, 285-295, 1999.

CHAULIAGUET, C. **L'énergie Solaire dans le Bâtiment**. Paris, Eyrolles, 1979.

CHAVEZ, J. R. G. **Viento y Arquitectura**. Mexico: Trilhas, 1995.

COMISSION INTERNATIONALE DE L'ÉCLAIRAGE. **CIE: S011/E:2003; ISO 15469:2003 (E): Spatial Distribution of Daylight-Cie Standard General Sky**. Viena, Áustria, 2003.

COMISSION INTERNATIONALE D'ÉCLAIRAGE. CIE n° 16 (E-3.2) 1970: Luz Natural. Tradução: Cobei. São Paulo, 1988.

COMMISSION OF EUROPEAN COMMUNITIES. **European Passive Solar Handbook: Basic Principles and Concepts for Passive Solar Architecture**. Brussels, 1986.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL CETESB. **Norma Técnica L11.032: Ruído. Determinação do Nível de Ruído em Ambientes Internos e Externos de Áreas Habitadas; Métodos de Ensaio**. São Paulo 1992.

COSTA, I. R. **Excel Automação para Usuários**. São Paulo: Futura, 2003.

COSTA, E. C. **Arquitetura Ecológica: Condicionamento Térmico Natural**. Edgar Blücher, 1982.

CROISET, M. **L'hygrothermique dans le Batiment**. Paris, Eyrolles, 1972.

TAO: uma metodologia para implantação de edificação
Márcia Peinado Alucci
Departamento de Tecnologia da FAUUSP 2007

DANIELS, K.; SCHWAIGER, E. **The Technology of Ecological Building: Basic Principles and Measures. Examples and Ideas.** Birkhauser, 1997.

DE MARCO, CONRADO SILVA. **Elementos de Acústica Arquitetônica.** São Paulo: Nobel, 1982.

DE SALIS, M. H. F. et al. **Noise Control Strategies for Naturally Ventilated Buildings.** Building and Environmental, 37, 471-484, 2002. Applied Acoustics.10, 1997.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE METEOROLOGIA **Normais Meteorológicas** (1961-1990). Brasília, 1992.

DEPARTMENT OF THE ENVIRONMENT WELSH OFFICE. **Sunlight and Daylight: Planning, Criteria and Design of Buildings.** Her Majesty's Stationery Office, Londres, 1971.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 5034 – Daylight in Interiors, Part 1, Part 2.** Berlin, 1979.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 5035 – Artificial Lighting of Interiors, Part 6.** Berlin, 1983.

DOELLE, L. L. **Environmental Acoustics.** McGraw-Hill, 1972.

DOGNIAUX, R. and DUCHATEAU, W. and PAGNOULE, L. **Prediction of Daylight and Energy-Saving. Symposium on Daylight: Physical, Psychological and Architectural Aspects.** Berlin, 1980.

DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. **Solar Engineering of Thermal Process.** New York: John Wiley & Sons, 1980.

TAO: uma metodologia para implantação de edificação
Márcia Peinado Alucci
Departamento de Tecnologia da FAUUSP 2007

EGAN, D. **Concepts in Architectural Design**. New York: Mcgraw-Hill, 1972.

EGAN, D. **Architectural Acoustics**. New York: Mcgraw-Hill, 1988.

EL DIEN, H. H.; WOLOSZYN, P. **The Acoustical Influence of Balcony Depth and Parapet Form: Experiments and Simulations**. Applied Acoustics, 66, 533-551, 2005.

EL-REFAIE, M. F. **Performance Analysis of External Shading**. Building and Environment, 22, 269-284, 1987.

ENERGY PLUS 1.2 .US-DOE-US. Department of Energy. Washington: US DOE, 2004.

ENVIRONMENTAL DESIGN SOLUTIONS LIMITED. **Building Simulation Software-EDSL. A-TAS: Theory Manual**. 2006.(Disponível em
<<http://ourworld.compuserve.com/homepages/edsl/default1.htm>>).

ERIKSSON, J. et GAY, B. et MOREL N. **Etudes de Sensibilité. Influence de la Fenêtre Sur le Bilan Energetique D'une Construction**. IEA, International Energy Agency. EPFL, Lausanne, 1986.

EUROPEAN STANDARD. **Final draft pr EN ISO 13791**. Viena, 2000.

EVOLA, G.; POPOV, V. **Computational Analysis of Wind Driven Natural Ventilation in Buildings**. Energy And Buildings, 38, 491-501, 2006.

FANGER, P. O. **Thermal Comfort, Analysis and Application in Environmental Engineering**. New York, Mc Graw-Hill, 1972.

FONTOYNONT, M. and BATARD, P. **Lumière Naturelle et Environnement**. Third International Congress on Building Energy Manegement, Switzerland, 1987.

TAO: uma metodologia para implantação de edificação
Márcia Peinado Alucci
Departamento de Tecnologia da FAUUSP 2007

FOSTER, M.; ORESZCZYN, T. **Occupant Control of Passive Systems: The Use of Venetian Blinds**. Building and Environments, 36, 149-155, 2001.

FOTHERGILL, L. C. **The Variation of Environmental Noise Outside Six Dwellings Between Three Seasons**. Applied Acoustics, 10, 191-200, 1977.

FROSETH, S. E.; LAMBERT, R. F. **Elevated Measurement of Traffic Noise Above an Ideal Reverberant City**. Journal of Sound and Vibration, 50 (3), 353-368, 1977.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico**. (2 ed). São Paulo: Nobel, 1995.

FROTA, A. B. **Geometria da Insolação**. São Paulo: Geros, 2004.

FUNARI, F. L. **Insolação, Radiação Solar Global e Radiação Líquida no Brasil**. (Dissertação de Mestrado apresentada ao Departamento de Geografia do FFLCHUSP). São Paulo, 1984.

GHIAUS, C. (ed); ALLARD, F. (ed). **Natural Ventilation in the Urban Environment**. London: Earthscan, 2005.

GIVONI, B. **Climate Considerations in Urban and Building Design**. New York: John Wiley & Sons, 1998.

GIVONI, B. **Passive Cooling of Buildings**. New York: John Wiley & Sons, 1994.

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

GOLEBIEWSKI, R.; MAKAREVICS, R. **Engineering Formulas for Ground Effects on Broad-Band Noise**. Applied Acoustics, 63, 993-1001, 2002.

TAO: uma metodologia para implantação de edificação
Márcia Peinado Alucci
Departamento de Tecnologia da FAUUSP 2007

GONZALEZ, E. et al. **Proyecto Clima y Arquitectura**, Universidad del Zulia, Facultad da Arquitectura, México, Gustavo Gili, 1986.

GRANJA, A. D. **Transmissão de Calor em Regime Periódico: Efeito da Inércia Térmica em Fechamentos Opacos**. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil. Campinas, SP, 2002.

GUGLIERMETTI, F.; BISEGNA, F. **Daylighting with External Shading Devices: Design and Simulation Algorithms**. Building and Environment, 41, 136-149, 2006.

GÜNDOĞDU, O.; GÖKDAG, M.; YÜKUSEL, F. **A Traffic Noise Prediction Method Based on Vehicle Composition Using Genetic Algorithms**. Applied Acoustics, 66, 799-809, 2005.

HERZOG, T., KAISER, N., VOLTZ, M. (ed.). **Solar Energy in Architecture and Urban Planning**. Prestel, 1996.

HEUTSCHI, K. **A Simple Method to Evaluate the Increase of Traffic Noise Level Due to Buildings, for a Long Straight Street**. Applied Acoustics, 44, 259-274, 1995.

HOPKINSON, R. G. et al. **Iluminação Natural**. Lisboa, Fundação Calouste Gulbekian, 1975.

HOUGH, MICHAEL. **Naturaleza y Ciudad**. Barcelona: Gustavo Gili, 1998.

ILUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA. **Lighting Handbook Reference & Application**. 8 Ed. New York: Iesna, 1994.

ILUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA (IES). RP-5: **Recommended Practice of Daylight**. IESNA. New York, 1979.

TAO: uma metodologia para implantação de edificação
Márcia Peinado Alucci
Departamento de Tecnologia da FAUUSP 2007

INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P. **Transferência de Calor e de Massa**. Rio de Janeiro: Ltc, 2003.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. S. A.
Dimensionamento de Aberturas e Proteções Solares. São Paulo, 1978 (Relatório IPT n° 13.257).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S. A.
Formulação de Requisitos e Critérios para Avaliação do Desempenho de Habitações Térreas Quanto à Ventilação. São Paulo, 1982 (Relatório IPT n° 17918).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S. A.
Avaliação de Desempenho de Habitações Térreas Unifamiliares. (Relatório IPT n° 16227). São Paulo, 1982.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 8996. Ergonomics: Determination of Metabolic Heat Production**. Geneve, 1990.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7730. Moderate Thermal Environmental – Determination of PMV e PPD Indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfort**. Geneve: 1994.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO/DIS (Draft) 16814. Building Environment Design-Indoor Air Quality-Methods of Expressing the Quality of Indoor Air for Human Occupancy**. Geneve: 2005.

ISMAIL, M. R.; OLDHAM, D. J. **A Scale Model Investigation of Sound Reflection From Building Façades**. Applied Acoustics, 66, 123-147, 2005.

JACOBSON, R. **Microsoft Excel 2000 Visual Basic for Applications**. São Paulo: Macron, 2001.

JANCZUR, R.; CZECHOWICS, M. **Influence of Vehicle Noise Emission Directivity on Sound Level Distribution in a Canyon Street. Part I: Simulation Program Test.** Applied Acoustics. 67, 643-658, 2006.

JANCZUR, R.; CZECHOWICS, M. **Influence of Vehicle Noise Emission Directivity on Sound Level Distribution in a Canyon Street. Part II: Simulation Program Test.** Applied Acoustics. 67, 659-679, 2006.

JANCZUR, R.; VALERIAN, E.; CZECHOWICS, M. **Sound Levels Forecasting for City-Centers. Part IV. Vehicles Stream Parameters Influence on Sound Level Distribution Within a Canyon Street.** Applied Acoustics. 62, 645-664, 2001.

JOSSE, R. **La Acústica en la Construcción.** Barcelona: Gustavo Gili, 1975.

JRAIW, S. K. **A Computer Model to Assess and Predict Road Transport Noise in Built-Up Areas.** Applied Acoustics, 24, 147-162, 1987.

KISCHKOWEIT, M. **An Overview of Daylight Systems.** Solar Energy, 73, 77-82, 2002.

KOKOWSKI, P.; MAKAREVCS, R. **Predict Effects of a Speed Bump on Light Vehicle Noise.** Applied Acoustics, 67, 570-579, 2006.

KUSUDA, T. **A Variable-Base Degree Day Method for Simplified Residential Energy Analysis.** Washington, National Bureau of Standards, 1981.

LAM, W. M. C. **Sunlighting as Formgivers for Architecture.** New York: Van Nostrand, 1986.

LAMBERTS. R., et ql. **Eficiência Energética na Arquitetura.** São Paulo: Pw, 1997.

LAO TSE. **Tao Te Ching.** (Disponível em http://pt.wikipedia.org/wiki/tao_te_ching#trechos)

- LESLIE, R. P. **Capturing the Daylight Dividend in Buildings: Why and How?** Building and Environment, 38, 381-385, 2003.
- LI, D. H. W.; CHEUNG, G. H. W.; LAU, C. C. S. **A Simplified Procedure for Determining Indoor Daylight Illuminance Using Daylight Coefficient Concept.** Building and Environment, 41, 578-589, 2006.
- LIM, B. P. et al. **Environmental Factors in the Design of Building Fenestration.** London: Applied Science, 1979.
- LITTLEFAIR, J. P. **Daylight Prediction in Atrium Buildings.** 73, 105-109, 2002.
- LITTLEFAIR, J. P. **A Comparison of Sky Luminance Models with Measured Data from Garston, United Kingdom.** Solar Energy, 53, 315-322, 1994.
- LITTLEFAIR, J. P. **Predicting Annual Lighting Use in Daylit Buildings.** Building and Environment, 25, 43-53, 1990.
- LITTLEFAIR, J. P. **Daylight, Sunlight and Solar Gain in the Urban Environment.** Solar Energy, 70, 177-185, 2001.
- LYNES, J. A. **Principles of Natural Lighting.** London: Elsevier, 1968.
- MANZANO, J. A. N. G. **Estudo dirigido de Excel 2000 – Avançado.** São Paulo: Erica, 1999.
- MARCH, L. **Elementary Models of Built Forms in Urban Space and Structures.** Cambridge University Press, London, 1972.
- MENDEZ, M. A. et al. **Acustica Arquitectonica.** Universidade del Museo Social Argentino. Buenos Aires: Testone Hnos., 1994.

TAO: uma metodologia para implantação de edificação
Márcia Peinado Alucci
Departamento de Tecnologia da FAUUSP 2007

Meteonorm – Global Meteorological Database for Solar Energy and Applied Climatology. Meteotest, 2004. (Disponível em <http://www.meteotest.ch/en/firma?w=ber>).

MILBANK, N. O; HARRINGTON. L. **Thermal Response and the Admittance Procedure.** Bre. London, 1974.

MOHSEN, E. A.; OLDHAM, D. J. **Traffic Noise Reduction Due to the Screening Effect of Balconies Façade.** Applied Acoustics, 10, 243-257, 1977.

MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M. P. **Índices de Conforto Térmico em Espaços Abertos. Parte I: Revisão Histórica.** In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído (Encac), Maceió, Outubro de 2005.

MOON, P. **The Scientific Basis of Illuminating Engineering.** New York: Mc Graw-Hill, 1936.

MOORE, F. **Concepts and Practice of Architectural Daylighting.** New York, Van Nostrand Reinhold, 1991.

MORRIS, E. N. **The Calculation of the Internally Reflected Component for Partially Obstructed Windows.** Building Science, 5, 73-77, 1970.

NARASIMHAN, V.; MAITREYA, V. K. **The Reflected Component of Daylight in Multistoreyed Buildings in the Tropics.** Building Science, 4, 93-97, 1969.

ÖGREN, M; FORSSÉN, J. **Modelling of a City Canyon Problem in a Turbulent Atmosphere Using an Equivalent Sources Approach.** Applied Acoustics, 65, 629-642, 2004.

OLGYAY, V & OLGAYAY, O. **Design with Climate.** New Jersey, Princeton University, 1963.

TAO: uma metodologia para implantação de edificação
Márcia Peinado Alucci
Departamento de Tecnologia da FAUUSP 2007

OVÍDIO, J.; DEL CARLO, U. **Acústica na Dinâmica Urbana**. (Dissertação em andamento). São Paulo, 2006.

PAMANIKABUD, P; VIVITJINDA, P. **Noise Prediction for Highways in Thailand**. Transportation Research Part D 7, 441-449, 2002.

PATRICIO, J. **Acústica nos Edifícios. I**. Virtual Impressão Digital, 2004.

PEPLOW, A. T. **On the Efficiency of Screens Near Roadside Cuttings**. **Journal of Sound and Vibration**. (Article in Press; doi: 1016/J. Jsv. 2006.06.022). Acessado em Agosto de 2006.

PEREIRA, F. O. R.; SILVA, C. A.; TURKIENIKS, B. **A Methodology for Sunlight Urban Planning: A Computer-Based Solar and Sky Vault Obstruction Analysis**. Solar Energy, 70, 217-226, 2001.

PEREZ, R.; INEICHEN, P. SEALS, R. **Modeling Daylight Availability and Irradiance Components from Direct and Global Irradiance**. Solar Energy, 44, 271-289, 1990.

PEREZ, R.; SEALS, R.; MICHALSKY, J. **All-Weather Model for Sky Luminance Distribution – Preliminary Configuration and Validation**. Solar Energy, 50, 235-245, 1993.

PICCOLO, A.; PLUTINO, D.; CANNISTRARO, G. **Evaluation and Analysis of the Environmental Noise of Messina, Italy**. Applied Acoustics, 66, 447-465, 2005.

PORTLOCK, P. C.; WHITEHEAD. B. **Provision for Daylight in Layout Planning**. Building Science, 8, 243, 249, 1973.

PRADO, L. C. **Iluminação**. (Apostila de curso). São Paulo, FAUUSP, 1970.

PRADO, L. C. **Acústica Arquitetônica**. (Apostila de curso). São Paulo, FAUUSP, 1962.

TAO: uma metodologia para implantação de edificação
Márcia Peinado Alucci
Departamento de Tecnologia da FAUUSP 2007

RIVERO, R. **Arquitetura e Clima: Condicionamento Térmico Natural**. Ufrgs, Porto Alegre: D. C. Luzzato Editores, 1985.

RIVERO, R. O. **Eficácia de Alguns Sistemas de Parasoles ante la Radiación Solar**. Servicio de Climatología Aplicada a la Arquitectura. Montevideo: Universidad de la Republica, 1987.

ROBBINS, C. L. **Daylighting: Design and Analysis**. New York: V. N. Reinhold, 1986.

ROBINSON, D.; STONE, A. **Internal Illumination Prediction Based on a Simplified Radiosity Algorithm**. Solar Energy, 80, 260-267, 2006.

ROLTSCH, W. J. et al. **Evaluation of Several Degree – Day Estimation Methods in California Climates**. International Journal Biometeorological, 42, 169-176, 1999.

ROMERO, M. A. **A Evolução da Arquitetura e dos Aspectos Energéticos dos Edifícios de Escritórios nos Últimos 30 Anos na Cidade de São Paulo**. In: ENCAC Fortaleza, 2004.

RORIZ, M. **Conforto Térmico e Economia de Energia em Edificações: Um Modelo Simplificado de Avaliação**. Universidade de São Carlos, São Carlos, 1991.

RORIZ, M. **Arquitrop: Conforto Térmico e Economia de Energia nas Edificações. Sistema Integrado de Rotinas e Banco de Dados para Apoio às Atividades de Projeto em Arquitetura e Engenharia Visando Conforto Térmico e Economia de Energia**. Versão 1.2/Software para Pc-Ibm, 1991.

SANTAMOURIS, M (ed) et al. **Energy and Climate in the Urban Built Environment**. James & James, 2001.

SANTAMOURIS, M; ASIMAKOPOULUS, D. (ed). **Passive Cooling of Buildings**. London: James & James, 1996.

TAO: uma metodologia para implantação de edificação
Márcia Peinado Alucci
Departamento de Tecnologia da FAUUSP 2007

SATTLER, M. A. **A Computer Program for the Thermal Design of Unconditioned Buildings.** Department of Building Science, University of Sheffield, Sheffield, 1986.

SAXENA, B. K.; BANSAL, G. D. **Sky Component Grids for Glazed Vertical Windows.** Energy And Buildings, 2, 45-53, 1979.

SELKOWITZ, S. **Influence of Windows on Building Energy Use.** Lawrence Berkeley Laboratory. EUA, Califórnia, 1984.

SELKOWITZ, S. **Window Performance and Building Energy Use: Some Technical Option for Increasing Energy Efficiency.** Lawrence Berkeley Laboratory. EUA, Califórnia, 1985.

SELKOWITZ, S. E GRIFFITH, J. W. **Effective Daylighting in Buildings – Revisited.** Lawrence Berkeley Laboratory. EUA, Califórnia, 1986.

SHARAG-ELDIN, A. **A Parametric Model for Predicting Wind-Induced Pressures on Low-Rise Vertical Surfaces in Shielded Environments.** Solar Energy, 2006. (Article in Press 06/2006).

SHARPLES, S.; STEWART, L; TREGENZA, P. R. **Glazing Daylight Transmittances: A Field Survey of Windows in Urban Areas.** Building Science, 36, 503-509, 2001.

SHEPHERD, R. **Excel VBA Programação de Macros.** Rio de Janeiro: Alta Books, 2004.

SLESSOR, C., LINDEN, J. **Eco-Tech: Sustainable Architecture and High Technology.** Thames and Hudson, 1997.

SPIEGEL, M. R.; SILVA, J. M. L. **Manual de Fórmulas, Métodos e Tabelas de Matemática.** Makron, Mcgraw-Hill, 1992. (Coleção Schaum).

STEEMERS, K., YANNAS, S. (ed.). **Architecture, City, Environment.** Plea2000. The

TAO: uma metodologia para implantação de edificação
Márcia Peinado Alucci
Departamento de Tecnologia da FAUUSP 2007

17th International Passive and Low Energy Architecture Conference. Cambridge, July, 2000. Proceedings. London: James & James, 2000.

SVSZOKOLAY, S. V. **Thermal Design of Buildings**. The Royal Australian Institute of Architects. Austrália, 1995.

SVSZOKOLAY, S. **Solar Geometry**. Plea Notes. Passive and Low Energy Architecture International. Design Tools and Techniques. University of Queensland: Queensland, 1996.

SVSZOKOLAY, S. (ed.) **Sustaining the Future. Energy-Ecology-Architecture**. Plea'99. The 16th International Passive and Low Energy Architecture Conference. Brisbane, Austrália, 22-24 September 1999. Proceedings. Brisbane: University of Queensland, 1999. 2v.

TANSATCHA, M et al. **Motorway Noise Modeling Based on Perpendicular Propagation Analysis of Traffic Noise**. Applied Acoustics, 66, 1135-1150, 2005.

TREGENZA, P. R. **Mean Daylight Illuminance in Rooms Facing Sunlit Streets**. Building and Environment, 30, 83-89, 1995.

TREGENZA, P. R. **The Proportions of a Rectangular Building for Minimum Ground Shading**. Building and Environment, 12, 221-222, 1977.

Van Straaten, J. F. & Wentzel, J. D. – **The Prediction of the Thermal Performance of Buildings by a Simplified Empirical Procedure**. National Building Research Institute. Pretoria, 1981.

WA-GICHIA, M. **The High-Rise Opposing Façade in Clear Sky Conditions - Not Always an “Obstruction” to Daylight**. Solar Energy, 64, 179-188, 1998.

WALERIAN, E.; JANCZUR, R.; CZECHOWICZ, M. **Sound Levels Forecasting for**

TAO: uma metodologia para implantação de edificação
Márcia Peinado Alucci
Departamento de Tecnologia da FAUUSP 2007

City-Centers. Part Ii: Effect of Source Model Parameters on Sound Level in Built-Up Area. Applied Acoustics, 62, 461-492, 2001.

WILHELM, R. **Tao-Te King. Lao Tzu: Texto e Comentário de.** Editora Pensamento. São Paulo, 1995.

WILKE, W. S.; SCHMIDT, J. **Modelling and Simulation of Elements for Solar Heating and Daylight.** Solar Energy, 46, 295-304, 1991.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (Who). Noise. Environmental. Health Criteria 12. Geneva, 1980
Guidelines For Community Noise, Edited By Birgitta Berglund, Thomas Lindvall, Dietrich H Schwela, © World Health Organization 1999.

WRIGHT, J.; PEREZ, R.; MICHALSKY, J. J. **Luminous Efficacy of Direct Irradiance: Variations with Insolation and Moisture Conditions.** Solar Energy, 42, 387-394, 1989.

YAMAYA, T.; OHTANI, Y. **On A Measurement Method of Configuration Factor Distributions with the help of an Electronic Still Camera and Personal Computer.** In: 16th Annual Conference On Computers And Industrial Engineering, 27, 305-308, 1994.

Anexo I

(Extraído da Resolução nº 198 de 22 fevereiro de 2000, emitida pela
Secretaria do Meio Ambiente da Cidade do Rio de Janeiro)

Nível de critério de avaliação para ambientes externos, de acordo com
a NBR 10151/2000, e zoneamento municipal por similaridade:

I.1.1 Tipos de Áreas	Período Diurno	Período Noturno	I.1.2 Zoneamento Municipal (por similaridade)
Áreas de sítios e fazendas	40	35	(zonas de preservação e conservação de unidades de conservação ambiental e zonas agrícolas)
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45	ZRU
Área mista, predominantemente residencial	55	50	ZR 1, ZR 2, ZR 6, ZRM, ZOC
Área mista, com vocação comercial e administrativa	60	55	ZR3, ZR 4, ZR 5, ZUM, CB de ZR, ZC, ZCS
Área mista, com vocação recreacional	65	55	ZT, AC, ZP, CB de ZT
I.1.3 Área predominantemente Industrial	70	60	ZPI , ZI, ZIC, CB de ZI

Obs: Os níveis máximos de sons e ruídos permitidos em ZE serão verificados de acordo com os usos previstos em cada sub-zona em correlação com a tabela acima.

Legenda:

ZE – zona especial

ZCVS - zona de conservação da vida silvestre

郑VS - zona de preservação da vida silvestre

ZOC - zona de ocupação controlada

ZRU - zona residencial unifamiliar

ZRM - zona residencial multifamiliar

ZR 1, 2, 3 - zona residencial (permite ensino em edificação exclusiva)

ZR 4, 5 - zona residencial (permite comércio em edificação mista e pequena indústria)

ZR 6 - residencial e agrícola

ZCS - zona de comércio e serviço

CB - centro de bairro

ZUM - zona de uso misto

ZT - zona turística

ZC - zona comercial

AC - área central

ZI - zona industrial

ZPI - zona predominantemente industrial

ZIC - zona de indústria e comércio

ZP - zona portuária

TAO: uma metodologia para implantação de edificação
Márcia Peinado Alucci
Departamento de Tecnologia da FAUUSP 2007

Anexo 2

Norma Técnica da CETESB L11.032 (julho 1992)

NORMA TÉCNICA

L11.032

JULHO/92

Ruído
- Determinação do nível
de ruído em ambientes
internos e externos de
áreas habitadas
- Método de ensaio

PALAVRAS-CHAVE: Ruído

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL

CDU 628.517.2

L11.032

TABELA I – Níveis admissíveis de ruído em áreas urbanas

Classificação de área	Período	Ambiente externo	Ambiente interno		
			Janelas abertas	Janelas simples fechadas	Janelas duplas(*) fechadas
Estritamente residencial	das 07:00 às 19:00 horas	50	40	35	30
	das 19:00 às 22:00 horas	45	35	30	25
	das 22:00 às 07:00 horas	40	30	25	20
Predominantemente residencial	das 07:00 às 19:00 horas	55	45	40	35
	das 19:00 às 22:00 horas	50	40	35	30
	das 22:00 às 07:00 horas	45	35	30	25
Diversificada (residências, comércio, indústrias)	das 07:00 às 19:00 horas	60	50	45	40
	das 19:00 às 22:00 horas	55	45	40	35
	das 22:00 às 07:00 horas	50	40	35	30
Predominantemente industrial	das 07:00 às 19:00 horas	65	55	50	45
	das 19:00 às 22:00 horas	60	50	45	40
	das 22:00 às 07:00 horas	55	45	40	35
	das 07:00 às 19:00 horas	70	60	55	50
Estritamente industrial	das 19:00 às 22:00 horas	70	60	55	50
	das 22:00 às 07:00 horas	70	60	55	50

(*) 2 vidros separados por uma camada de ar.