

Metodologia de avaliação de conforto ambiental de projetos escolares usando o conceito de otimização multicritério

Methodology for evaluating the thermal comfort of school building design using multi-criteria optimization

Valéria Azzi Collet da Graça
Doris Catharine Cornélie Knatz Kowaltowski

Resumo

Avaliações pós-ocupação realizadas em prédios de escolas do Estado de São Paulo mostraram que os edifícios possuem uma série de problemas relacionados ao conforto ambiental, o que permite considerar que os parâmetros atuais de projeto necessitam de uma revisão criteriosa. Esta pesquisa apresenta um método de avaliação e otimização de projetos arquitetônicos de escolas para a rede pública estadual de São Paulo, considerando a formulação dos parâmetros de conforto ambiental que são utilizados na fase de anteprojeto. O objetivo da avaliação/otimização do projeto foi maximizar diversos aspectos de conforto ambiental e qualificar as diversas soluções de projeto existentes. O método de avaliação foi aplicado em 35 projetos de escolas. Os resultados mostraram a existência de conflito entre os diferentes parâmetros de conforto ambiental e a importância do uso da otimização para a avaliação de projetos. Observou-se que não é possível maximizar os quatro confortos (térmico, luminoso, acústico e funcional) ao mesmo tempo, mas sim encontrar um conjunto de soluções de compromisso. A aplicação mostrou, também, a relevância do método como um importante instrumento de avaliação e de processo de decisão.

Palavras-chave: metodologia de projeto, otimização multicritério, conforto ambiental, prédio escolar

Valéria Azzi Collet da Graça
Centro Federal de Educação
Tecnológica de São Paulo
R. Leonardo da Vinci, 230
CEP 06710-667 - Cotia, SP
- Brasil
Tel.: (11) 4612 8673
E-mail: valeria_collet@uol.com.br

Doris Catharine Cornélie
Knatz Kowaltowski
Departamento de Arquitetura e
Construção
Universidade Estadual de
Campinas
Caixa Postal 6021
Campinas, SP
- Brasil
Tel.: (19) 378-82301
E-mail: doris@fec.unicamp.br

Abstract

Post occupancy evaluations of school buildings in the State of São Paulo have shown that schools present several problems related to environmental comfort, and that design criteria should be revised. This paper presents a design evaluation methodology based on the optimization of comfort parameters applicable at the preliminary design stage, devised for public schools from the State of São Paulo. The main goal was to maximize specific aspects of environmental comfort (thermal, lighting, acoustics and functionality) and characterize specific design solutions of existing typical designs. The method was tested on 35 school designs. Although conflicts between different comfort parameters are apparent, results show that multi-criteria optimization can be applied as a design tool. Final results showed that a set of compromise solutions exists, and that an optimal solution for all aspects of environmental comfort is not possible. The application also showed that optimization can be a powerful decision making tool for the design process.

Recebido em 16/04/04
Aceito em 21/09/04

Keywords: design methods, multi-criteria optimization, environmental comfort, school building design

Introdução

O projeto arquitetônico de escolas para ensino da rede estadual de São Paulo é padronizado atualmente pela Fundação para o Desenvolvimento da Educação (FDE). O programa arquitetônico é estipulado pela modulação em função das salas de aula. A partir da padronização, os espaços de uma edificação escolar são organizados dentro de um determinado terreno considerando-se a legislação local vigente (FDE, 1998). A padronização gera um modelo de projeto que considera uma boa solução aquela que atende às restrições e diretrizes constantes em catálogos de especificação de ambientes e nas normas técnicas de elaboração de projetos de escolas dos ensinos fundamental e médio no âmbito do Estado de São Paulo. No processo criativo, as condições de conforto ambiental não são sistematicamente consideradas como um princípio de projeto. Mediante avaliações pós-ocupação de edifícios escolares da rede estadual de São Paulo, verificam-se problemas referentes a condições de conforto ambiental. Esses problemas podem ser resultado de decisões realizadas no início do processo, quando são definidas a forma geral do edifício e a sua implantação. A aplicação de critérios de avaliação pode ser um meio para melhorar o processo do projeto. Este trabalho apresenta uma proposta de metodologia de avaliação de projeto com base na otimização de parâmetros de conforto ambiental aplicável ao processo criativo de projetos de escolas.

Revisão bibliográfica

A revisão bibliográfica procurou reunir informações para contextualizar a pesquisa em quatro aspectos. Primeiro foi realizada a compreensão dos problemas existentes em prédios de ensinos fundamental e médio mediante levantamento histórico e avaliações pós-ocupação. Em segundo lugar, foi verificada a dificuldade em enquadrar o processo criativo em metodologias de projeto e foi indicado um modelo geral considerando-se as principais fases realizadas pela prática profissional, notando-se a otimização implícita na fase de avaliação. Em terceiro, verificaram-se os modelos de avaliação de projeto, constatando-se o pouco uso da otimização de projeto, e finalmente em quarto, descreveu-se o conceito de otimização de projeto que se pretende implementar com esta pesquisa.

Levantamento histórico e avaliação pós-ocupação

O histórico da arquitetura escolar paulista é dividido em seis períodos (FDE, 1998; ORNSTEIN; BORELLI, 1996): as escolas executadas na Primeira República, aquelas executadas na administração de Armando Sales, pelo Convênio Escolar, as executadas pelo Fundo Estadual de Construções Escolares (Fece), sob coordenação da Companhia de Construções Escolares de São Paulo (Conesp), e as executadas pela Fundação para o Desenvolvimento Educacional (FDE).

As escolas construídas durante a Primeira República foram projetadas e executadas principalmente entre os anos de 1894 e 1910. Essas construções obedeciam a um programa arquitetônico composto basicamente de salas de aula e de um reduzido número de ambientes administrativos. Caracterizavam-se, em especial, pela simetria da planta, na qual se identificava a rígida separação entre as seções masculina e feminina. O código sanitário determinava que nos fundos ou na lateral dos prédios fossem construídos galpões para ginástica. Os edifícios da época eram considerados de ótima qualidade do ponto de vista construtivo.

Nas escolas executadas entre os anos de 1934 e 1937, na administração de Armando Sales, foram implementadas as definições de critérios de projetos, tais como o dimensionamento das salas de aula, os materiais de acabamentos, as cores, o dimensionamento e posicionamento de janelas e a insolação. Com o advento do Estado Novo houve a interrupção desse trabalho, que foi retomado pelo convênio escolar.

Os projetos de escolas produzidos pelo convênio escolar de 1949-1954 passaram a possuir uma conceituação moderna, mais funcional. Com relação à orientação das salas de aula, era recomendado o posicionamento de norte a nordeste. Nesse período foram criadas 68 escolas, porém a necessidade de se edificar rápido e a pressão dos custos fizeram com que essas obras tivessem uma qualidade ruim.

As escolas executadas pelo Fece (1960, Governo Carvalho Pinto), segundo Sami Bussab (FDE, 1998), possibilitaram a concepção de obras escolares notáveis. Fazia-se a arquitetura pela arquitetura. Vãos generosos, pátios amplos, porém sem sistematização ou interpretação do que era o processo pedagógico no que diz respeito à arquitetura. O partido que o arquiteto adotava não

respondia às necessidades pedagógicas, podendo-se inferir que a qualidade do prédio era insatisfatória como um ambiente educacional.

O projeto escolar sob a coordenação da Conesp, diante da demanda crescente, passou por um processo de normalização de materiais e componentes. A proposta básica era sintetizar e listar as principais informações necessárias aos projetistas. A apresentação do projeto seguiria normas estabelecidas para cada etapa, baseadas nos catálogos de componentes, serviços, conjuntos funcionais e seus ambientes. A padronização teve em vista o sentido dimensional, fixando-se a área em módulos e padronizando-se os componentes. Sobre este tema tem-se que:

“Os projetos passaram a se converter numa espécie de jogo de armar [...] o ideal não estaria na rigidez das normas nem na liberdade total. Os dois extremos acabam produzindo, no caso específico da arquitetura escolar, resultados insatisfatórios”. (FDE, 1998, p. 24).

A Fundação para o Desenvolvimento Escolar, criada em 1987, assume as atribuições da Conesp, mantendo a mesma filosofia de projetos e obras.

Neste breve histórico percebe-se que os projetos de prédios escolares seguiram uma racionalização que em certos momentos adota o princípio da construção de um ambiente educacional proporcionando o conforto do usuário.

A dicotomia existente entre a demanda e a criação desse ambiente educacional fez com que se priorizasse a construção de mais salas de aula no ritmo crescente imposto pela demanda, o que permitiu considerar a necessidade de avaliação e melhoria dos projetos escolares.

Parâmetros de projeto foram implementados, porém mediante pesquisa pós-ocupação, percebeu-se a existência de problemas que podem ser evitados com a utilização de parâmetros mais rigorosos e com a otimização de projeto na fase de anteprojeto.

Na pesquisa realizada em 15 escolas na cidade de Campinas, foram feitas avaliações técnicas (medições e observações) e aplicados questionários aos usuários, com o objetivo de investigar as condições de conforto ambiental (funcional, térmico, acústico e visual) dos prédios e de elaborar intervenções simples para a melhoria dessas condições (KOWALTOWSKI et al., 2001).

Em relação ao conforto funcional, pesquisou-se sobre área e dimensões dos ambientes, número e tipo de ocupantes, a quantidade e dimensões dos mobiliários e sua adequação às estaturas dos

usuários, equipamentos e arranjo físico das salas de aula.

Alguns resultados foram: (a) incompatibilidade da dimensão do mobiliário com a faixa etária de seus usuários; (b) falta de salas de aula, biblioteca, banheiros, depósitos, equipamento audiovisual e carteiras; (c) ambientes adaptados, que, na maioria das vezes, não são plenamente satisfatórios para as atividades atuais; (d) programa de necessidades dos projetos arquitetônicos, que, na maioria das escolas avaliadas, não corresponde às necessidades reais do ensino atual, apontando para reestruturações físicas complexas em muitos casos; (e) 40% das salas estudadas com área por aluno abaixo do recomendado (1,00 m²/aluno, conforme legislação vigente, n.º 493, 1994); e (f) na maioria dos casos, superlotação, que impede a flexibilidade dos arranjos da sala de aula.

Em relação ao conforto térmico, foram feitas observações de cada sala, sobre os elementos de proteção solar, reflexão da radiação por superfícies vizinhas, aberturas de ventilação, abertura de janelas e portas, e presença de ventilador. Também foram feitas medições das temperaturas com instrumentos. Alguns resultados foram: (a) a maioria dos ambientes das escolas tem orientação leste ou oeste; (b) os pátios, em sua maioria, foram considerados desconfortáveis devido à grande exposição ao vento e à falta de proteção contra insolação; e (c) há insolação direta sobre os usuários.

No conforto visual foram feitas medições dos níveis de iluminação e avaliação dos usuários. Alguns resultados foram: (a) na maioria das salas pesquisadas há distribuição não uniforme da iluminação; (b) nível de iluminação fora das recomendações (o mínimo exigido é de 500 lux, segundo resolução n.º 493, 1994); (c) manutenção precária das lâmpadas; (d) utilização padronizada do número de lâmpadas, independentemente do tamanho da sala; e (e) ofuscamento no plano de trabalho e na lousa.

O conforto acústico foi verificado por meio de questionários aos usuários e medições técnicas de nível de pressão sonora. Alguns resultados foram: (a) quase a totalidade das escolas apresentou nível de pressão sonora (NPS) superior ao recomendado por norma e tempo de reverberação prolongado; (b) salas de aula com janelas voltadas para ruas ruidosas apresentaram NPS elevado; (c) salas de aula próximas ao pátio ou com corredores largos e extensos apresentaram NPS mais elevado; e (d) as fontes de ruído interno e externo são semelhantes em todas as escolas.

Metodologia de projeto

Os problemas detectados nas avaliações pós-ocupação indicam a necessidade de se verificarem as metodologias de projeto. É importante investigar a origem das falhas e estabelecer procedimentos que incluam em seu processo, em alguns casos, a tomada de decisões otimizada.

As metodologias utilizadas atualmente para o desenvolvimento de projetos arquitetônicos, geralmente, consistem de análise e síntese ou de tentativas e erros. Nem sempre proporcionam uma visão geral clara de seus objetivos e muitas vezes não permitem o armazenamento das informações referentes às decisões efetuadas ou não se preocupam com ele. Assim sendo, muitas vezes o projeto é considerado e tratado de forma empírica, não sendo constatado o desenvolvimento de uma metodologia genérica que possibilite o compartilhamento do processo, das informações e das avaliações (SUH, 1998).

As metodologias de projeto podem ser vistas como abstrações e reduções utilizadas para compreender o fenômeno projetivo. Existe um consenso entre os teóricos de que a intuição é uma parte importante do processo e de que o modelo de projeto não é uma seqüência linear de atividades exatas, uma vez que o projetista não possui amplo conhecimento da natureza do objeto de projeto e seu processo de pensamento não pode ser considerado totalmente racional (LANG, 1987).

Relatada por vários autores, a complexidade do campo projetivo arquitetônico (DÜLGEROGLU, 1999; JUTLA, 1996; FERNANDES, 1998; BARROSO-KRAUSE, 1998):

- (a) situa-se em um campo intermediário entre Ciência e Arte, tendo que responder a questões não perfeitamente definidas, o que permite múltiplas abordagens;
- (b) possui subáreas (representação da forma, história e teoria, tecnologia de construções, estudo das estruturas, entre outras) que se desenvolvem de maneira independente, cada uma com um tipo de dialeto, sendo necessário integrá-las na concepção do projeto; e
- (c) possui o conhecimento universal para fazer normas e padronização, e o conhecimento específico para cada caso. Assim sendo, todo problema é único e, portanto, cada solução está baseada em um conjunto diferente de critérios.

Devido a essa complexidade, as dificuldades em se enquadrarem as características do processo projetivo em metodologias são grandes, uma vez que o processo de criação de formas em arquitetura

é, na sua maioria, informal, individual ou pertencente a escolas com regras estéticas (KOWALTOWSKI; LABAKI, 1993).

Muitos projetistas procuram regras na criação da forma. Estudos do processo criativo indicam pelo menos cinco tipos de heurísticas¹ aplicadas na solução de projetos: analogias antropométricas (baseiam-se no corpo humano e nos limites dimensionais); analogias literais (uso de elementos da natureza como inspiração da forma); relações ambientais (aplicação com maior rigor de princípios científicos ou empíricos da relação entre homem e ambiente, tais como clima da região, tecnologia e recursos disponíveis); tipologias (permitem a aplicação de conhecimento de soluções anteriores aos problemas relacionados, podendo-se separar modelos de acordo com tipos de construção, tipos organizacionais, tipos de elementos ou protótipos); e linguagens formais (estilos adotados por grupos ou escolas de projetistas) (ROWE, 1992).

O processo de projeto pode ser descrito de várias maneiras e em vários níveis de generalização. Existem muitos estudos que relatam metodologias e teorias de projeto (BROADBENT, 1973; ROWE, 1992; EVBUOMWAN et al., 1996). A teoria de projeto considera uma coleção de princípios úteis para explicar o processo de projeto e proporcionar o fundamento básico para propor metodologias. Ela explica o que é o projeto e o que se tem feito no ato projetivo. A metodologia de projeto, por outro lado, é a coleção de procedimentos, ferramentas e técnicas utilizados pelo projetista. A metodologia de projeto é prescritiva, indicando como projetar, e a teoria de projeto é descritiva, indicando o que é o projeto (EVBUOMWAN et al., 1996).

Pode-se considerar o processo de projeto como um número de atividades intelectuais básicas organizadas em fases de características e resultados distintos. Essas atividades são: análise, síntese, previsão, avaliação e decisão. Na prática, algumas podem ser realizadas com a intuição, algumas de forma consciente e outras a partir de um padrão (LANG, 1987).

O projeto arquitetônico faz parte da família de processos de decisão, podendo-se considerar as principais fases do modelo geral, que, traduzidas pela prática profissional dos projetistas, se dividem em programa, projeto, avaliação e decisão,

¹ A heurística é definida como qualquer princípio, procedimento ou artifício que contribui para a redução da pesquisa para uma solução satisfatória (NEWELL; SHAW; SIMON, 1967; SIMON, 1969 citados em ROWE, 1992); é um termo aplicado a uma estrutura específica de um problema.

construção e avaliação pós-ocupação. Em cada fase pode ser realizada uma série de atividades (LANG, 1987; PAPALAMBROS; WILDE, 1988).

Para melhorar o processo de projeto e vencer obstáculos de sua complexidade são recomendados, atualmente, dois procedimentos. O primeiro é o processo participativo que visa a enriquecer o levantamento de dados para o desenvolvimento do programa de necessidades. A participação também ajuda na partilha da tomada de decisão, com os futuros usuários de uma nova edificação (SANOFF, 1994; SANOFF, 2002). Em segundo lugar, a avaliação pós-ocupação e os registros dos erros e acertos de protótipos devem ser valorizados (PREISER et al., 1988). Vários métodos de avaliações de ambientes construídos em uso foram desenvolvidos, e técnicas existem para estimular a produtividade e preservar a ética no processo, com participação da população.

Na rotina dos escritórios de arquitetura verifica-se, ainda, a divisão da fase de projeto em croquis, anteprojeto e projeto de execução. No croqui a liberdade de escolha é maior e as restrições pequenas, quando comparadas às das fases seguintes. Assim, pode-se admitir um modelo geral de processo de projeto, visualizado na Figura 1, considerando-se as principais fases realizadas pela prática profissional (BARROSO-KRAUSE, 1998).

Modelos de avaliação de projeto

A avaliação de projeto tem sido feita de um modo geral, considerando-se métodos que englobam *checklists*, a seleção de critério, classificação e atribuição de pesos, especificações escritas e índices de confiabilidade (JONES, 1980).

Nos últimos anos, a complexidade do projeto e da avaliação da qualidade ambiental das construções de grande porte tem aumentado por diversas razões:

- (a) avanço rápido da tecnologia;
- (b) mudança de percepção e de demanda dos proprietários de edificações;
- (c) aumento da importância do prédio como um facilitador da produtividade,
- (d) aumento da troca de informações e do controle humano; e

(e) necessidade de criação de ambientes sustentáveis considerando-se temas tais como eficiência energética, construção passiva e projeto ecológico.

Essa complexidade fez com que o uso computacional entrasse no processo como ferramenta de suporte ao projeto, verificando-se na fase de avaliação o crescente surgimento de ferramentas de simulação. Tais ferramentas permitem aos projetistas avaliarem o impacto do projeto em diferentes campos, tais como desempenho energético e sistemas de refrigeração, ventilação e qualidade do ar interno, iluminação natural e artificial, desempenho acústico, entre outros (WONG et al., 2000).

Na análise de Wong et al. (2000), Ebehard e O'Donovan (1990) e Hantings (1989),

- (a) a maioria das ferramentas desenvolvidas para a análise energética e dimensionamento de sistemas de refrigeração possui a intenção de verificar normas, não proporcionando necessariamente suporte no processo de projeto;
- (b) a análise da ventilação e da qualidade do ar depende de uma série de fatores, tais como circulação interna e externa do ar (correntes de ar), emissão de poluentes, ar condicionado e ventilação natural. As ferramentas são classificadas em modelos estruturais de multizonas e modelos de dinâmica de fluidos. Para o uso dos modelos estruturais, é necessário considerar todas as aberturas da edificação. Nos modelos de dinâmica dos fluidos, são utilizados métodos numérico-computacionais, com entrada de grande quantidade de dados e o conhecimento de leis da Física referentes aos fenômenos de transporte, além do uso de computadores potentes;
- (c) as ferramentas para simulação da iluminação natural e artificial geralmente utilizam métodos específicos que calculam a iluminação direta no plano de trabalho, possuindo como restrição a simplicidade ortogonal geométrica do ambiente; e
- (d) são poucas as ferramentas para a avaliação de desempenho acústico. Programas utilizam o método de elemento finito e o método de elemento de contorno. A maioria das ferramentas permite o cálculo do tempo de reverberação, a distribuição do som e os efeitos dos materiais utilizados nas paredes, teto e piso.

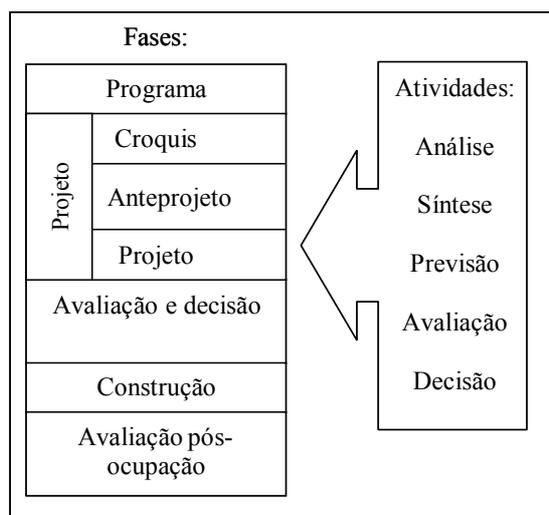


Figura 1 - Modelo geral de processo de projeto baseado em Lang (1987) e Barroso-Krause (1998)

Observa-se que a maioria das ferramentas de simulação foi desenvolvida para usos específicos. O processo é caracterizado pelo desenvolvimento do projeto e verificação de seu desempenho. Caso este seja insatisfatório, são feitas alterações, e o processo de simulação se repete até ser encontrada uma solução satisfatória. O que mudar e como mudar, geralmente, dependem da experiência do projetista. A maior deficiência da simulação é que ela geralmente produz uma série de informações de vários aspectos do desempenho de apenas uma solução de projeto por vez e não proporciona informação de como comparar o desempenho de diversas soluções. Assim, a simulação não garante que a melhor solução seja identificada (BALACHANDRA, 1996).

Esses problemas da simulação tendem a ser solucionados com o uso de sistemas integrados, de adaptações de programas às realidades de cada contexto em que forem utilizados, dos avanços tecnológicos e de novas maneiras de se conceber o processo de projeto (WONG et al., 2000).

A crescente preocupação com fatores ambientais fez surgir recentemente a avaliação do desempenho ambiental dos edifícios, indicando medidas para a redução de impactos por meio de alterações na forma como eles são projetados, construídos e gerenciados ao longo do tempo. Os principais modelos de avaliação de desempenho ambiental de edifícios são (SILVA, 2000):

(a) BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*), do Reino Unido, lançado em 1990 e composto de um *checklist* que verifica o atendimento de itens mínimos de desempenho, projeto e operação dos edifícios. Vários outros sistemas foram gerados e

estão em desenvolvimento considerando-se este modelo;

(b) BEPAC (*Building Environment Performance Assessment Criteria*), do Canadá, lançado em 1993, que se dedica à avaliação de edifícios comerciais constituído basicamente de *checklist* que atribuem créditos a ações de projeto, construção ou gerenciamento.

(c) LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) dos Estados Unidos, lançado em 1996, originalmente desenvolvido para edifícios comerciais e posteriormente aplicado aos edifícios institucionais e residenciais de múltiplos pavimentos. Possui uma estrutura simples e considera conceitos ambientais e de uso de energia estabelecidos em normas e recomendações de organismos com credibilidade reconhecida. Também é constituído de *checklist*; e

(d) GBC (*Green Building Challenge*). Trata-se de um consórcio internacional com o objetivo de desenvolver um método para a avaliação do desempenho ambiental (GBtool), caracterizado por possuir maior flexibilidade, podendo-se considerar diferentes prioridades, tecnologia, tradições construtivas ou valores culturais de diferentes países ou regiões. Utiliza um sistema de pontuação projetado para tentar acomodar critérios quantitativos e qualitativos.

As avaliações ambientais dos edifícios compreendem pelo menos cinco categorias: utilização de recursos naturais; geração de poluição e emissões; comprometimento dos agentes e qualidade do monitoramento da operação do edifício; qualidade do ambiente interno; e contexto de inserção. Os modelos de avaliação

existentes não englobam necessariamente todas as categorias de avaliação (SILVA, 2000).

Trata-se de uma área nova em fase de amadurecimento, a validade da pesquisa é de consenso internacional. Fato importante é o início da participação brasileira no GBC, onde se espera a construção de suporte científico nacional com ênfase nos procedimentos de coleta e tratamento de dados e definição de parâmetros locais relevantes (SILVA, 2000).

Otimização de projeto: a seleção da melhor alternativa

Tradicionalmente, a seleção da melhor alternativa pode ser chamada de otimização de projeto. Os modelos de otimização se caracterizam por possuírem critério de avaliação, em que o melhor projeto selecionado é dito projeto ótimo e o critério usado é o objetivo do modelo (PAPALAMBROS; WILDE, 1991). Nota-se que um modelo para selecionar o “melhor projeto” permeia todo o processo projetivo e que o desenvolvimento deste modelo influencia e é influenciado por todas as fases de projeto.

O propósito principal da teoria de otimização é ajudar o projetista na seleção de um projeto que pertence a um conjunto de soluções viáveis ao problema, proporcionando direcionamento ao processo de decisão pela comparação entre os projetos e pela seleção do melhor (STADLER; DAUER, 1992).

Inicialmente, as técnicas de otimização eram concebidas com um único objetivo, como, por exemplo, o custo ou o tamanho, o que não era adequado ao problema de projeto que possui diversos parâmetros. Por esse motivo surgiram a pesquisa e o desenvolvimento de tomada de decisão baseado em múltiplos critérios (BALACHANDRA, 1996).

As raízes da otimização multicritério surgiram na economia. A primeira definição de ótimo para um problema de otimização multicritério foi estabelecida por Edgeworth, em 1881 (STADLER; DAUER, 1992), onde para dois consumidores, P e π , é necessário encontrar um ponto (x, y) de tal forma que, em qualquer direção que este ponto se mova, P e π não melhoram juntos, ou seja, enquanto um aumenta, o outro diminui, conforme se visualiza na Figura 2.

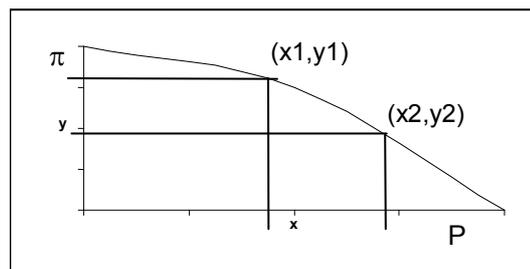


Figura 2 - Definição de ótimo em um problema de otimização multicritério

Essa situação de compromisso também é chamada de decisão ótima de Edgeworth-Pareto, ou seja, na otimização multicritério é necessário encontrar o conjunto de soluções de projeto não-inferiores, em que dois critérios não melhoram juntos. Assim, dividem-se as soluções de projeto em conjuntos que possuam compromisso e em conjuntos sem compromisso ou conjunto ótimo e conjunto não ótimo (STADLER; DAUER, 1992).

A maioria das aplicações de otimização multicritério se refere a problemas da engenharia mecânica, elétrica e questões estruturais (STADLER; DAUER, 1992). Também são encontrados exemplos na área de planejamento de recursos e problemas ambientais. Especificamente em arquitetura, existem exemplos de dimensionamento de planta baixa (BALACHANDRA, 1996), de análise da relação entre custo e benefício, com o objetivo de maximizar o espaço de residência multifamiliar para a população de baixa e média renda (CHAKRABARTY, 1996), de planejamento urbano (MATSUASHI, 1997) e de dimensionamento de aberturas (ALUCCI, 2000).

A otimização prescreve um conjunto de decisões de projeto de forma a encontrar um conjunto específico de desempenhos. São estabelecidos os valores das variáveis que, ao mesmo tempo, satisfazem os requisitos e otimizam o conjunto de objetivos.

Na prática, a garantia de encontrar o melhor projeto é ilusória. Na verdade, encontra-se o melhor projeto dentro de um conjunto existente de projetos (STADLER; DAUER 1992). Raramente os projetistas podem identificar todas as soluções possíveis de um problema. As decisões são realizadas de forma a satisfazer um requisito em um dado momento. Essas decisões podem ser vistas como subótimas ou como decisões satisfatórias (ROWE, 1992).

Método de Pesquisa

Para a formulação da metodologia de avaliação e otimização de projetos de escolas da rede estadual de São Paulo foi selecionada uma amostra de 39 projetos: 25 se encontram representados no livro *Arquitetura Escolar e Política Educacional: Os Programas na Atual Administração* (FDE, 1998), e 14 projetos se encontram representados no relatório final da avaliação pós-ocupação realizada pela Unicamp com as escolas de Campinas (KOWALTOWSKI et al., 2001).

Esses projetos foram analisados quanto à influência do terreno em relação à síntese da forma da edificação. Procurou-se delimitar os terrenos da amostra a partir do tamanho mínimo da largura, do comprimento e da relação dessas duas medidas, de modo a permitir certa flexibilidade de decisões em projeto. Para a largura e o comprimento utilizou-se o critério de minimização da largura e do comprimento em cada agrupamento de escolas (agrupamentos separados pelo número de salas de aula) considerando-se o maior número possível de estudos de caso. Já para a razão, que trata da proporção do terreno para o desenvolvimento do projeto, o critério foi a minimização da razão nas faixas de agrupamento de escolas considerando-se as escolas que atenderam aos limites mínimos de largura e comprimento. Para os três parâmetros foi considerada a média das medidas do terreno.

O resultado da análise do tamanho dos terrenos da amostra está apresentado na Tabela 1. Considerou-se que terrenos com dimensões menores que as estipuladas nessa tabela não fariam parte do conjunto de soluções viáveis para a aplicação da metodologia de avaliação. Assim, foram eliminados quatro projetos. A Figura 3 mostra alguns exemplos. A maioria dos projetos implantados nesses terrenos sofre grandes restrições devido ao tamanho do terreno, o que prejudica a tomada de decisões otimizadas no anteprojeto.

Delimitando-se o terreno, foi realizada a formulação de parâmetros de conforto ambiental para a fase de anteprojeto. Notou-se que nesta fase de projeto as principais decisões realizadas pelos projetistas tratam da implantação geral dos ambientes educacionais. Por esse motivo foi considerada como parâmetro para o conforto luminoso a orientação das salas com disposição das aberturas; para o conforto térmico, a orientação das salas e a ventilação; para o conforto acústico, a proximidade entre ambientes ruidosos (pátio e sala de aula); e para o conforto funcional, a proximidade entre ambientes que afetam diretamente a rotina da escola (sala de aula e banheiro).

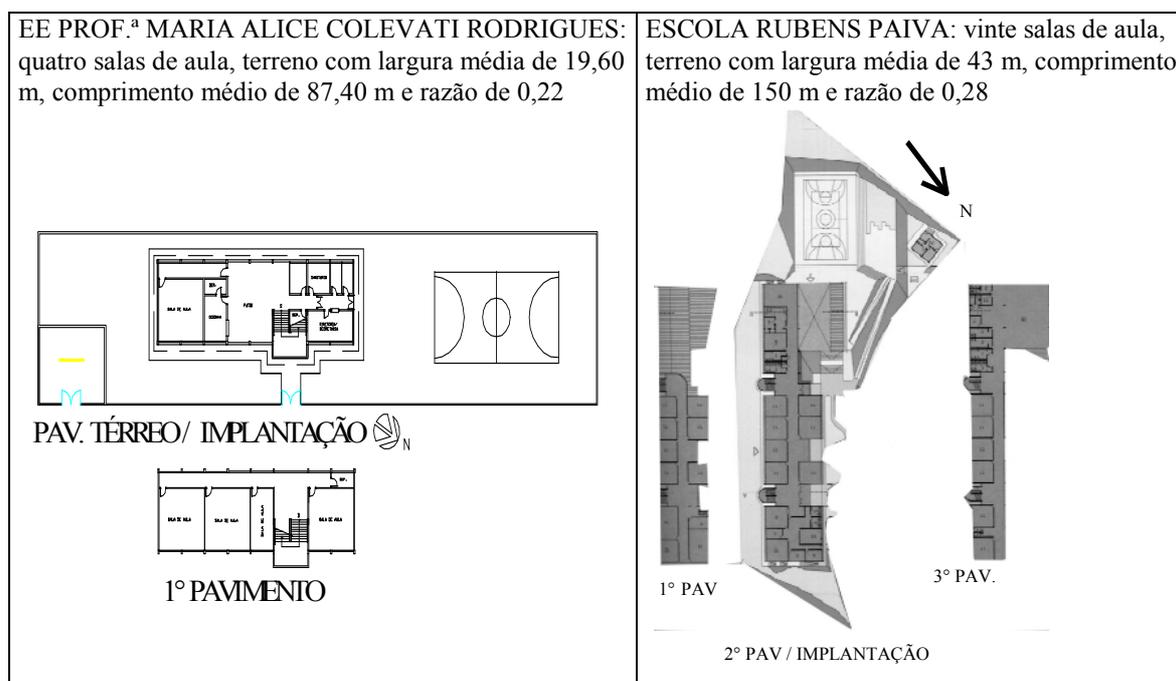


Figura 3 - Exemplos de escolas eliminadas pela análise do terreno

Escolas	Largura (mínima)	Comprimento (mínimo)	Razão (L/C) (mínima)
4-12 salas	36	43	0,36
13-15 salas	38	65	0,48
16-18 salas	40	70	0,48
19-21 salas	53	108	0,49

Tabela 1 - Dimensões mínimas de terreno (m) e relação entre número de salas de aula

Realizada a definição dos parâmetros de conforto ambiental para a fase de anteprojeto, foram analisadas as variáveis encontradas nas soluções viáveis de projeto. A modelagem matemática dessas variáveis passou por várias decisões:

(a) primeiro, foi necessário definir uma maneira de qualificá-las de modo a permitir, posteriormente, uma unidade de quantificação única para todas as formas de conforto ambiental. Para as variáveis de conforto térmico, acústico e luminoso, optou-se pela utilização da escala semântica e pela qualificação feita por três especialistas (considerou-se especialista o profissional que atua na área de conforto ambiental como docente, pesquisador e/ou prestador de serviços de assessoria a projetos há mais de cinco anos)². Para a qualificação das variáveis de conforto funcional foram realizadas medições retiradas dos projetos; e

(b) segundo, fez-se necessário transformar o diferencial semântico (péssimo, ruim, bom, muito bom e ótimo) de um dado qualitativo para um dado quantitativo. Considerou-se a teoria dos sistemas nebulosos (*Fuzzy sets*) como alternativa para essa modelagem, sendo utilizado o grau de pertinência para transformar a escala semântica em dado quantitativo. No caso das respostas dos três especialistas, foi considerada a média das respostas.

Elaborando-se o modelo matemático de cada conforto ambiental, foi realizada a avaliação dos projetos, objeto desta pesquisa. Cada projeto possui um conjunto composto de quatro avaliações. Ainda foi necessário definir a função “objetivo” da metodologia de avaliação/otimização, ou seja, o que seria considerado para a seleção de um conjunto de projetos ótimos. Considerou-se nesta fase que a função “objetivo” do modelo se faz pela maximização do conjunto de conforto ambiental, portanto os projetos considerados não-inferiores

possuem pelo menos uma variável de projeto superior quando comparados a outro projeto.

Com a elaboração da metodologia de avaliação/otimização de projeto foi possível formar o conjunto de soluções de compromisso (não-inferiores). Estes projetos são considerados soluções ótimas do conjunto de projetos avaliados.

Avaliação dos parâmetros de conforto ambiental

As escalas semânticas foram quantificadas utilizando-se o grau de pertinência, conforme se visualiza na Figura 4.

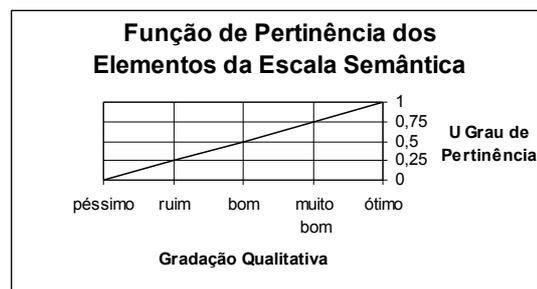


Figura 4 - Grau de pertinência de cada elemento da escala semântica

Para o conforto térmico foram qualificadas sete configurações de salas de aula, considerando-se as posições das aberturas. Essas configurações podem se apresentar em oito tipos de orientação solar e ventilação predominante, representando um total de 56 variáveis de projeto, visualizadas nas Figuras 5 e 6. Para qualificar essas variáveis de projeto, foram realizadas entrevistas com três especialistas da área de conforto térmico. As entrevistas foram direcionadas mediante questionário que considerava a escala de valores semântica, como se verifica no exemplo da Figura 7. A escala semântica utilizada para qualificar as variáveis de projeto foi quantificada segundo o grau de pertinência obtido pela média das respostas dos três especialistas, conforme se verifica na Tabela 2.

² Foi realizada entrevista com os especialistas direcionada por questionários com o uso do diferencial semântico. A maioria dos especialistas optou por responder ao questionário após a entrevista. A Figura 7 é um exemplo de questionário.

Representação da sala de aula	7 Posições de aberturas
1 	1- Aberturas em paredes paralelas
2 	2- Aberturas em paredes adjacentes
3 	3- Aberturas em paredes adjacentes
4 	4- Abertura em parede protegida por corredor
5 	5- Abertura em parede oposta ao corredor
6 	6- Abertura em parede oposta ao corredor protegida por varanda
7 	7- Aberturas em paredes adjacentes

Figura 5 - Configurações das salas de aula e suas aberturas

8 orientações solares dos ambientes com o respectivo vento predominante							
A	B	C	D	E	F	G	H
							
Indicação da orientação Norte dos ambientes  e do vento predominante Sudeste 							

Figura 6 - Posições das orientações e ventos predominantes

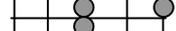
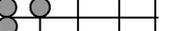
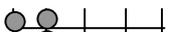
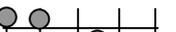
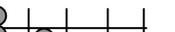
Posição das aberturas	Qualificação do conforto térmico: orientação e ventilação			
	A 	B 	C 	D 
1 	P R B MB O 	P R B MB O 	P R B MB O 	P R B MB O 
2 	P R B MB O 	P R B MB O 	P R B MB O 	P R B MB O 
3 	P R B MB O 	P R B MB O 	P R B MB O 	P R B MB O 

Figura 7 - Qualificação de algumas variáveis de conforto térmico

Posição das aberturas	Quantificação de conforto térmico, orientação e ventilação							
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	0,67	0,54	0,08	0,33	0,33	0,71	0,46	0,33
2	0,13	0,33	0,21	0,29	0,21	0,17	0,38	0,38
3	0,42	0,25	0,29	0,13	0,46	0,29	0,33	0,17
4	0,25	0,29	0,21	0,17	0,25	0,29	0,25	0,21
5	0,17	0,17	0,00	0,08	0,21	0,29	0,17	0,25
6	0,33	0,29	0,13	0,17	0,29	0,42	0,29	0,29
7	0,33	0,00	0,17	0,25	0,38	0,42	0,04	0,00

Tabela 2 - Grau de Pertinência das variáveis de projeto para conforto térmico

Cada escola foi quantificada através da média dos valores de grau de pertinência das variáveis de projeto. Por exemplo, na Escola Bairro Rocio, localizada em Iguape, observa-se a existência de três salas de aula que correspondem à variável 5E e três salas de aula que correspondem à variável 5H, conforme se verifica na Figura 8.

Para o conforto acústico foram qualificadas por três especialistas as variáveis representadas na Figura 9. Para qualificar essas variáveis foram consideradas: portas das salas de aula fechadas e voltadas para o corredor, janelas na parede oposta ao corredor e abertas, e área de recreação no pavimento térreo. Observou-se que todos os especialistas consideraram que não há diferença na qualificação de cada variável quanto ao pavimento (térreo, primeiro ou segundo andar) de localização das salas de aula. A escala semântica para o parâmetro acústico foi quantificada segundo o grau de pertinência obtido pela média das respostas dos especialistas, conforme se verifica na Tabela 3. Cada escola foi quantificada pela média dos valores de grau de pertinência das variáveis de projeto.

variável	GP	variável	GP
1	0,71	5	0,33
2	0,21	6	0,46
3	0,67	7	0,46
4	0,50	8	0,17

Tabela 3 - Quantificação das variáveis acústicas de projeto

Para o conforto luminoso foram qualificadas as variáveis de projeto representadas na Figura 10. Para qualificar estas variáveis de projeto foram realizadas entrevistas com três especialistas, como se verifica nos exemplos da Figura 11. As variáveis qualificadas pelos especialistas através

do diferencial semântico foram quantificadas a partir do grau de pertinência obtido pela média das respostas, conforme se verifica na Tabela 4. Cada escola foi quantificada pela média dos valores de grau de pertinência das variáveis de projeto.

Para o conforto funcional foi realizada uma análise com medições em planta dos 35 projetos. Observou-se que a distância entre a sala de aula e o banheiro variou de 10,80 m a 111,00 m. Não se verificou relação entre o número de salas de aula e as distâncias percorridas para o deslocamento entre esses ambientes. Nesta análise não foi necessária a avaliação de especialistas, pois foram consideradas medidas físicas que puderam ser transformados em dados qualitativos. Para mensurar a distância entre o banheiro e a sala de aula, foram feitas duas considerações: primeiro, a distância percorrida em escadas foi convertida para rampa com inclinação de 10%; e, segundo, foi considerada a média das distâncias do centro de cada sala de aula ao banheiro e o caminho realizado pelo usuário.

Para transformar essas medidas em grau de pertinência de acordo com a escala semântica, foram considerados a relação do tempo gasto para a locomoção de um ambiente para outro e o tempo da atividade realizada no ambiente. O tempo gasto para a locomoção possui variações que se referem ao tamanho da pessoa, ao modo de andar, à idade, entre outras. Para essa conversão foi considerada a velocidade de 6,5 km/h ou seja 108,33 m/min, o que corresponde a um adulto caminhando em passo apressado (FIXX, 1977). Quanto ao tempo da atividade realizada no ambiente, geralmente as escolas se organizam para o ensino médio com atividades em sala de aula com a duração de 50 minutos. Organizando-se essas informações na Tabela 5, pode-se associar medidas físicas ao grau de pertinência e ao diferencial semântico para avaliar os projetos quanto ao conforto funcional.

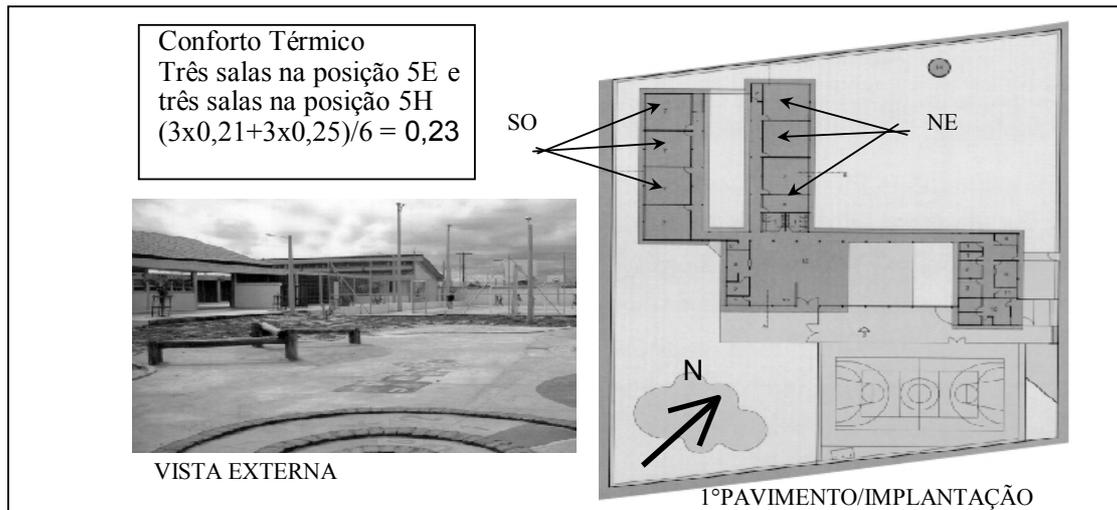


Figura 8 - Exemplo de avaliação de conforto térmico de projeto de edificação escolar

Variável	Pav.	GP	Variável	Pav.	GP
	T 1 2	P R B MB O -----●-----●-----		T 1 2	P R B MB O -----●-----●-----
	T 1 2	P R B MB O -----●-----●-----		T 1 2	P R B MB O -----●-----●-----
	T 1 2	P R B MB O -----●-----●-----		T 1 2	P R B MB O -----●-----●-----
	T 1 2	P R B MB O -----●-----●-----		T 1 2	P R B MB O -----●-----●-----
Legenda: corredor salas de aula pátio pátio coberto					

Figura 9 - Qualificação das variáveis de conforto acústico feita pelos especialistas

Posição das aberturas nos formatos diferenciados de sala de aula			
Posição das aberturas	Salas retangulares com corredor na menor face	Salas retangulares com corredor na maior face	Salas quadradas
Aberturas em paredes paralelas	1	6	13
Aberturas em paredes adjacentes uma com proteção	2	7	14
Aberturas em paredes adjacentes uma com proteção	3	8	15
Abertura em parede protegida por corredor	4	9	16
Abertura em parede oposta ao corredor	5	10	17
Abertura em paredes adjacentes sem proteção		11	18
Abertura em paredes adjacentes sem proteção		12	
Orientações consideradas para os ambientes			

Figura 10 - Variáveis de projeto para conforto luminoso

Salas de aula	Quantificação de conforto luminoso, orientação							
	A ↑	B ↓	C ←	D →	E ↙	F ↗	G ↘	H ↘
1	0,08	0,08	0,58	0,29	0,38	0,13	0,25	0,21
2	0,29	0,63	0,17	0,08	0,21	0,29	0,59	0,33
3	0,46	0,17	0,13	0,21	0,25	0,54	0,29	0,34
4	0,17	0,29	0,50	0,42	0,29	0,29	0,38	0,38
5	0,25	0,08	0,42	0,33	0,29	0,29	0,21	0,21
6	0,63	0,38	0,08	0,13	0,13	0,25	0,17	0,25
7	0,17	0,21	0,29	0,46	0,29	0,38	0,25	0,38
8	0,25	0,13	0,46	0,34	0,38	0,34	0,38	0,33
9	0,67	0,50	0,54	0,38	0,46	0,46	0,50	0,42
10	0,58	0,42	0,00	0,21	0,13	0,21	0,25	0,33
11	0,08	0,25	0,08	0,25	0,04	0,29	0,17	0,25
12	0,29	0,08	0,00	0,21	0,21	0,25	0,25	0,25
13	0,88	0,38	0,04	0,25	0,17	0,42	0,17	0,29
14	0,17	0,29	0,34	0,46	0,25	0,38	0,29	0,63
15	0,38	0,13	0,50	0,29	0,38	0,34	0,71	0,42
16	0,67	0,42	0,42	0,29	0,46	0,46	0,50	0,42
17	0,54	0,25	0,00	0,17	0,13	0,25	0,17	0,33
18	0,08	0,25	0,00	0,21	0,13	0,21	0,17	0,33

Tabela 4 - Grau de pertinência das variáveis para conforto luminoso

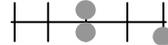
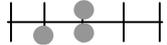
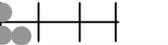
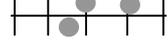
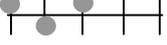
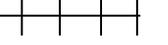
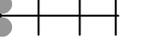
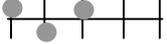
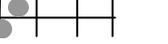
Qualificação de conforto luminoso: orientação das aberturas e formato da sala de aula				
Formato e posição das aberturas				
	↑ A	↓ B	← C	→ D
 16	P R B MB O 	P R B MB O 	P R B MB O 	P R B MB O 
 17	P R B MB O 	P R B MB O 	P R B MB O 	P R B MB O 
 18	P R B MB O 	P R B MB O 	P R B MB O 	P R B MB O 

Figura 11 - Qualificação de algumas variáveis para o conforto luminoso

Diferencial semântico	GP	% de perda de tempo da atividade realizada em sala de aula para locomoção	Perda de tempo da atividade realizada em sala de aula em minutos	Distância para ir e voltar da sala de aula ao banheiro em metros (m). Velocidade de 108,33 m/min
Péssimo	0,00	10% da atividade	5	541,65
Ruim	0,25	5% da atividade	2,5	270,83
Bom	0,50	3% da atividade	1,5	162,50
Muito bom	0,75	2% da atividade	1,0	108,33
Ótimo	1,00	1% da atividade	0,5	54,16

Tabela 5 - Conversão de medidas funcionais em grau de pertinência

Otimização multicritério da amostra

A otimização de projeto é realizada para que se possa comparar projetos que pertencem ao conjunto de soluções viáveis, isto é, soluções que atendam às restrições do modelo matemático, e selecionar a “melhor” alternativa. O conjunto de soluções viáveis foi analisado por meio da quantificação de avaliações qualitativas dos parâmetros de conforto térmico, acústico, luminoso e funcional. Os dados recolhidos em cada escola formam um conjunto discreto de avaliação das variáveis de projeto expressos em grau de pertinência, representados na Tabela 6.

Observou-se que num único projeto poderiam ocorrer diferentes configurações de sala de aula, portanto a avaliação global de cada parâmetro foi realizada pela média da qualificação das variáveis de projeto. Nesta pesquisa o objetivo é avaliar projetos e escolher a “melhor” solução, considerando-se o conjunto de parâmetros de conforto ambiental na fase de anteprojeto. Verifica-se na Tabela 6 que não existe uma solução que maximize todos os confortos ao mesmo tempo. Esse fato permite considerar o conceito de otimização multicritério para comparar e selecionar as melhores soluções de

projetos, isto é, identificar e excluir as soluções inferiores, formando o conjunto de soluções de compromisso. Portanto, faz-se necessário estipular um critério que identifique quais são as soluções inferiores e quais são as soluções de compromisso. Notou-se que existem projetos com grau de pertinência inferior em todas as formas de conforto ambiental à outra solução, como é o caso do exemplo da Escola Cel. Firmino G. da Silveira, que possui grau de pertinência de conforto térmico, luminoso, acústico e funcional, respectivamente, de 0,10, 0,24, 0,45 e 0,57, que é inferior, por exemplo, ao conjunto formado pela Escola Bairro Limoeiro (0,25; 0,33; 0,67; 0,77).

Assim, o critério para identificar as soluções inferiores foi: soluções que possuem todas as avaliações de parâmetros de conforto com valor inferior a outro projeto. Pode-se definir, por eliminação, o critério de maximização de projeto, que identifica as soluções de compromisso da seguinte maneira: soluções que possuem pelo menos uma avaliação de parâmetro de conforto superior a outro projeto.

Verificando-se todos os projetos que são objeto desta análise e seguindo o critério de maximização, formou-se um conjunto discreto de soluções de compromisso representado na Tabela 7. Essas soluções também são chamadas de “ótimo de

Edgeworth-Pareto” do conjunto finito das soluções viáveis de projeto (STADLER; DAUER, 1992).

Observa-se, pela Tabela 7, que o conjunto de soluções de compromisso mostra de forma clara que a análise de anteprojetos e a decisão por um único parâmetro de avaliação poderiam desconsiderar soluções melhores em outros parâmetros. Por outro lado, na formação do

conjunto “ótimo de Edgeworth-Pareto”, observa-se que uma solução inferior necessita de ajustes maiores que as soluções de compromisso. Por essa razão é importante se considerar a otimização multicritério no início do processo de projeto, para que as melhores soluções sejam selecionadas, o que pode contribuir para a racionalização do processo e para a elaboração de projetos com melhor qualidade relacionada ao conforto ambiental.

Escolas	Térmico	Luminoso	Acústico	Funcional
Roque Magalhães Barros	0,25	0,17	0,33	0,90
José Camilo de Andrade	0,27	0,21	0,49	0,64
Prof. M. Alice C. Rodrigues	0,25	0,32	0,67	0,66
Dante Aligueri Vista	0,23	0,47	0,46	0,45
Bairro Limoeiro	0,25	0,33	0,67	0,77
Prof. João Sant'Anna	0,17	0,31	0,61	1,00
Bairro Rocio	0,23	0,23	0,67	0,89
Chapada Grande	0,17	0,25	0,67	0,95
Bairro Senhorinhas	0,69	0,65	0,21	0,36
Prof. Casemiro Poffo	0,00	0,00	0,17	0,83
Dr. Disney F. Scornaienchi	0,29	0,42	0,71	0,93
Buraco do Gazuza	0,25	0,33	0,17	0,45
Pq. Piratininga II	0,17	0,29	0,34	0,97
José Ibiapino Franklin	0,33	0,29	0,21	0,59
Procópio Ferreira	0,25	0,33	0,50	0,71
Francisco Glicério	0,25	0,25	0,49	0,74
Cel. Firmino G. da Silveira	0,10	0,24	0,45	0,57
Alberto Medaljon	0,22	0,20	0,68	0,67
Ary Monteiro Galvão	0,29	0,46	0,59	0,46
Pq. Claudia	0,23	0,21	0,67	0,60
Artur Segurado	0,26	0,31	0,33	0,98
Barão Geraldo	0,23	0,23	0,45	0,46
Conj. Hab. Jd. Dourado II	0,24	0,22	0,67	0,87
Jd. Nossa Sra. De Fátima	0,21	0,13	0,65	0,74
Vila Ayrosa	0,23	0,24	0,56	0,71
Jd. Rodolfo Pirani	0,09	0,21	0,56	0,96
Prof. Jesus José Attab	0,21	0,30	0,46	0,47
João Lourenço	0,24	0,28	0,33	0,59
Galo Branco	0,17	0,39	0,46	0,46
Jd. Tiro	0,25	0,33	0,44	0,55
Vitor Meireles	0,25	0,22	0,30	1,00
Jd. Centenário	0,23	0,29	0,46	0,63
Adalberto Nascimento	0,25	0,32	0,21	0,65
Prof. Renato Fiuza Teles	0,25	0,54	0,71	0,41
Cidade Soinco II	0,23	0,25	0,25	0,39
Soldado PM E. B. Santos	0,07	0,22	0,17	0,62

Tabela 6 - Avaliação de projetos de edificações escolares em relação às variáveis consideradas de conforto ambiental

Escola	Térmico	Luminoso	Acústico	Funcional
Bairro Senhorinhas	0,69	0,65	0,21	0,36
José Ibiapino Franklin	0,33	0,29	0,21	0,59
Ary Monteiro Galvão	0,29	0,46	0,59	0,46
Dr. Disnei F. Scornaienchi	0,29	0,42	0,71	0,93
Artur Segurado	0,26	0,31	0,33	0,98
Prof. Renato Fiuza Teles	0,25	0,54	0,71	0,41
Vitor Meireles	0,25	0,22	0,30	1
Dante Aligueri Vista	0,23	0,47	0,46	0,45
Prof. João Sant' Anna	0,17	0,31	0,61	1
Chapada Grande	0,17	0,25	0,67	0,95

Tabela 7 - Conjunto de soluções de compromisso

Conclusão

A aplicação de metodologia de avaliação com o conceito de otimização proporciona uma melhoria na área de projetos em dois pontos importantes: primeiro, na metodologia de projeto e, segundo, na avaliação pós-ocupação. O projetista que se utiliza do conceito de otimização em sua metodologia de projeto soluciona o problema de uma maneira mais racional, uma vez que tende a selecionar variáveis de projeto que já passaram por um processo de qualificação. A utilização da metodologia de projeto com o conceito de “pareto-ótimo” também permite ao projetista uma argumentação coerente quanto a suas decisões, o que melhora sua comunicação com o usuário na explanação de sua proposta de projeto. Acredita-se que a aplicação desta metodologia no desenvolvimento de novos projetos e na avaliação pós-ocupação possa contribuir para a melhoria do ambiente escolar, alertando os projetistas da importância de se considerarem, em conjunto, os quatro confortos ambientais por meio do conceito de otimização.

Durante o processo de desenvolvimento desta pesquisa verificou-se que, primeiro, é necessário um estudo estatístico para indicar o nível de confiabilidade dos resultados das avaliações feitas pelos especialistas e, segundo, a discussão do tamanho mínimo de terreno foi realizada apenas para qualificar a amostra. Esses tamanhos não devem ser utilizados como parâmetros de escolha de terreno na implementação de novos projetos. Para esses casos, indica-se a pesquisa em simulação computacional das diversas possibilidades de implantação de projeto a um determinado tamanho de lote.

Verificou-se, ainda, a possibilidade de novas pesquisas em alguns pontos: a) o desenvolvimento de banco de dados de variáveis de projeto estruturado pelos parâmetros de avaliação, o que permitirá a inserção de novas variáveis e a consulta dos projetistas; b) o desenvolvimento de um sistema

integrado deste banco de dados à computação gráfica (CAD), o que poderá fornecer ao projetista a avaliação “on-line” das variáveis escolhidas, facilitando o processo iterativo e a tomada de decisão em projeto; e c) o desenvolvimento de banco de dados de projetos existentes, avaliados com essa metodologia, indicando quais os problemas e quais soluções podem ser implementadas.

Referências

ALUCCI, M. P. Mais iluminação natural, com menor consumo de energia. **Qualidade na Construção**, São Paulo, v.3, n. 24, p. 40-45, 2000.

BALACHANDRA, M. **Knowledge-based optimum design**. Southampton, Boston: Computational Mechanics, 1996. 165 p. (Topics in Engineering, v. 10).

BARROSO-KRAUSE, C. Ciência e concepção arquitetônica: reintegrando tecnologia e arquitetura. In: DEL RIO, Vicente (Org.). **Arquitetura, pesquisa & projeto**. São Paulo: Pro Editores, 1998. p.37-53.

BROADBENT, G. **Design in architecture**. London: Wiley, 1973.

CHAKRABARTY, B. K. Optimal design of multifamily dwelling development systems. **Building and Environment**, v. 31, n.1, p. 67-74, Jan. 1996.

DÜLGEROGLU, Y. Design methods theory & its implications for architectural studies. **Design Methods, Theories, Research, Education and Practice**, California, v. 33, n. 3, p. 2870-2879, July/Sept. 1999.

EBEHARD, A. A.; O'DONOVAN, M. A critical review of the usefulness of microcomputer based design tools for passive solar design of low cost housing in developing countries. **Building and Environment**, v. 25, n. 2, p. 111-115, 1990.

- EVBUOMWAN, N. F. O.; SILVALOGANATHAN S.; JEBB A. A survey of design philosophies, models, methods and systems. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part B, Journal of Engineering Manufacture**, London, v. 210, n. B4, p. 301-320, 1996.
- FIXX, J. **Guia completo da corrida**. 4. ed. Rio de Janeiro: Record, 1977.
- FERNANDES, P. Integração das diretrizes energéticas no processo de concepção arquitetônica. In: DEL RIO, Vicente (Org.). **Arquitetura, pesquisa & projeto**. São Paulo: Pro Editores, 1998. p. 25-51.
- FUNDAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO (FDE). **Arquitetura escolar e política educacional**: os programas na atual administração do Estado. São Paulo, 1998.
- HANTINGS, S. R. Computer design tools for climate-responsive architecture. **Solar and Wind Technology**, v. 6, n. 4, p. 357-363, 1989.
- JONES, J. C. **Design Methods**: seeds of human futures. London: Wiley - Interscience, 1980.
- JUTLA, R. S. An Inquiry into design. **Design Methods, Theories, Research, Education and Practice**, California, v. 30, n. 1, p. 2304-2308, 1996.
- KOWALTOWSKI, D. C. C. K.; LABAKI, L. C. O projeto arquitetônico e o conforto ambiental: necessidade de uma metodologia. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1993, São Paulo. **Anais...**, São Paulo: EPUSP, ANTAC, 1993. v. 2, p. 785-794.
- KOWALTOWSKI, D. C. C. K.; BORGES FILHO, F.; LABAKI, L. C.; RUSCHEL, R. C.; BERTOLI S. R.; PINA, S. M. G. A. **Relatório científico, projeto de pesquisa**: melhoria do conforto ambiental em edificações escolares de Campinas. São Paulo: FEC/UNICAMP, 2001.
- LANG, J.T. **Designing for human behavior**: Architecture and the Behavioral Sciences. Stroudsburg: Dowden, Hutchinson and Ross, 1987.
- MATSUHASHI, K. Application of multi-criteria analysis to urban land-use planning. Austria, 1997. (IIASA Report). Disponível em: <www.iiasa.ac.at>. Acesso em: 26 abr. 2002.
- ORNSTEIN, S. W.; BORELLI, J. N. (Coord.). **O desempenho dos edifícios da rede estadual de ensino**: o caso da Grande São Paulo. São Paulo: FAU/USP, 1996.
- PAPALAMBROS, P. Y.; WILDE, D. J. **Principles of optimal design**: modelling and computation. Cambridge: Cambridge University Press, 1991.
- PREISER W. F. E.; RABINOWITZ, H. Z.; WHITE, E. T. **Post-occupancy evaluation**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1988.
- ROWE, P. G. **Design thinking**. 4. ed. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, 1992.
- SANOFF, H. **School design**. New York: Van Nostrand Rheinold, 1994.
- _____. **School building assessment methods**. Disponível em: <www.edfacilities.org>. Acesso em: 11 out. 2002.
- SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Estado da Saúde. Resolução n.º 493, de 08 de setembro de 1994. Norma técnica que dispõe sobre a elaboração de projetos de educação de 1º e 2º graus no âmbito Estado de São Paulo. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, São Paulo. 1994. seção 1.
- SILVA, V. G. Avaliação do desempenho ambiental de edifícios. **Qualidade na Construção**, São Paulo, v.3, n. 25, p. 14-22, 2000.
- STADLER, W. E.; DAUER J. Multicriteria optimization in engineering: a tutorial and survey. In: SEEBASS, R. (Ed.). **Structural optimization**: status and promise progress on astronautics and aeronautics. USA: Manohar P. Kamat, 1992.
- SUH, N.P. Axiomatic design theory for systems. **Research in Engineering Design**, London, v. 10, p. 189-209, 1998.
- WONG, N. H.; LAM, K. P.; HENRY, F. The use of performance-based simulation tools for building design and evaluation: a Singapore perspective. **Building and Environment**, v. 35, p. 709-736, 2000.