

# Qualificação da iluminação natural em interiores - aplicação das redes neurais artificiais e 3DSkyView

*Qualification of indoor natural lighting - application of artificial neural networks and 3DSkyView*

Paula Roberta Pizarro  
Léa Cristina Lucas de Souza

## Resumo

O conforto ambiental em arquitetura de escolas públicas não é considerado sistematicamente requisito de projeto, sendo um dos obstáculos a impossibilidade de maximizar todas as variáveis do conforto simultaneamente. Este artigo analisa o nível de iluminância de sala de aula, definindo a importância e as relações entre as variáveis do conforto luminoso. O método de pesquisa consiste em uma análise através da observação comportamental e medições dos níveis de iluminância no ambiente. Faz-se uso de duas ferramentas metodológicas: a extensão 3DSkyView, como forma de obter a variável Fator de Visão do Céu (fator de forma), e as Redes Neurais Artificiais, como ferramenta de modelagem das relações entre as variáveis levantadas. Os resultados mostraram que os estudantes estão habituados a realizar tarefas com valores de iluminância baixos ou altos demais. A variável fator de visão do céu (FVC) apresentou os maiores valores de importância para o conforto visual, sendo 21% para o mês de maio e 37,1% para o mês de novembro.

**Palavras-chave:** Redes Neurais Artificiais. Conforto luminoso. Luz natural. Escolas. FVC.

## Abstract

*Environmental comfort in public school buildings is not often seen as a project requirement, due to the difficulty in considering all comfort-related architectural variables at once. This paper focuses on the level of illuminance in classrooms, by defining the importance and the relationship among visual comfort variables. The research method consisted of the observation of the users' behaviour under different conditions of illuminance levels in the environment. Two methodological tools have been applied: the 3DSkyView extension, which was used for determining sky view factors, and artificial neural networks, which were applied for modelling the relationships between variables. The results indicate that students are used to develop tasks, either under too high, or under too low illuminance levels. The sky view factor (SVF) has presented the highest relevance for visual comfort among all variables investigated, assuming an importance level of 21% in May and 37,1% in November.*

**Keywords:** Artificial Neural Networks. Luminous comfort. Daylighting. Schools. SVF

Paula Roberta Pizarro  
Departamento de Arquitetura e  
Urbanismo  
Universidade Estadual de  
Campinas  
Rua Albert Einstein, 951, Bairro  
Geraldo  
Campinas - SP - Brasil  
CEP 13083-852  
Tel.: (19) 3788-2384  
E-mail: paulapazr@hotmail.com

Lea Cristina Lucas de  
Souza  
Departamento de Arquitetura,  
Urbanismo e Paisagismo  
Faculdade de Arquitetura,  
Artes e Comunicação  
Universidade Estadual Paulista  
Júlio de Mesquita Filho  
Av. Eng. Luiz Edmundo Carrijo  
Coube S/N - Vargem Limpa  
Bauru - SP - Brasil  
CEP 17033-360  
Tel.: (14) 221-6059  
E-mail: leacrist@faac.unesp.br

Recebido em 11/04/06  
Aceito em 28/08/06

## Introdução

O conforto luminoso é um fator de suma importância para a saúde e produtividade das pessoas e de particular importância nos edifícios escolares, visto o tipo de funções realizadas nesses ambientes (MARINCIC; OCHOA, 2003). Sendo assim, pode-se afirmar que o processo de aprendizado em salas de aula e o conseqüente desempenho do aluno sofrem influência direta das características físicas do ambiente (edifício) escolar. Muitas vezes, porém, essa relação é negligenciada, e as condições de conforto não são consideradas como parâmetros de projetos em salas de aula.

A fim de analisar e avaliar a qualidade luminosa de um ambiente através dos parâmetros construtivos, alguns aspectos podem ser destacados: níveis de iluminação recomendados para tarefa visual; uniformidade e níveis de contraste; distância entre usuários e objetos; uso de cores nas superfícies; elementos externos e internos na proteção da insolação direta; e iluminação artificial suplementar (LABAKI; BUENO-BARTHOLOMEI, 2001). Ainda, segundo Graça (2002), o formato do ambiente e a orientação das aberturas influenciam um ao outro, ou seja, uma boa orientação das aberturas pode ser prejudicada pelo formato da sala de aula e vice-versa. Embora as variáveis citadas anteriormente sejam complementares, não é possível propor um estudo de otimização de suas qualidades sem que estas sejam entendidas separadamente. Para isso, são necessários estudos que determinem e analisem a importância de cada variável para o desempenho do conforto.

Outra questão pertinente aos estudos de conforto luminoso refere-se à distância presente em muitos edifícios entre o seu envelope e a área de trabalho em si, o que acarreta um desempenho luminoso inadequado e é de difícil resolução, do ponto de vista da iluminância natural. Segundo Brown e Dekay (2004), o impacto dos controles da iluminação natural mais importante na arquitetura é a organização dos pontos de luz em zonas estabelecidas pelas atividades internas e pelos padrões de distribuição de luz natural. Quando a luz natural é usada para atender a um plano de trabalho ou à iluminação ambiente, há um decréscimo na iluminação à medida que nos afastamos das aberturas. Com a mudança das condições celestes e a menor disponibilidade de luz natural, as condições das zonas internas de iluminação também variam, com as áreas mais distantes das janelas escurecendo rapidamente.

O objetivo deste trabalho é identificar e determinar as importâncias das variáveis construtivas que caracterizam o nível de conforto luminoso dos alunos em salas de aulas, possibilitando ainda a previsão e a análise do nível de iluminância do ambiente escolar. Ressalta-se que o modelo numérico em si não é significativo para o estudo em questão, mas sim os dados por ele simulados. Chama-se ainda a atenção de que neste estudo é considerado apenas o desempenho luminoso para escolas com atividades durante o período diurno, não tendo sido consideradas escolas que oferecem atividades no período noturno.

## Ferramentas de tratamento e análise de dados

São consideradas duas ferramentas específicas no estudo de caso e no desenvolvimento do modelo de previsão aqui proposto: a extensão *3DSkyView* e as Redes Neurais Artificiais (RNAs). A primeira é utilizada para a geração de um dado específico a ser aplicado no modelo, enquanto a segunda refere-se à ferramenta de análise e modelagem dos dados.

O dado a ser gerado trata-se do Fator de Visão do Céu (FVC). Como a abóbada celeste é uma das principais fontes de luz natural, essa área torna-se um elemento determinante do conforto visual do usuário dentro da edificação.

Para a determinação desse fator é aplicada a extensão *3DSkyView*, criada por Souza, Rodrigues e Mendes (2003). Essa extensão foi desenvolvida a partir do software *ArcViewGIS 3.2* e permite obter, de forma automatizada, o delineamento e a determinação da área visível de céu na malha urbana. Originalmente, a extensão foi desenvolvida para cálculo do fator de visão do céu em vias urbanas, mas a mudança nos parâmetros de entrada do programa pode possibilitar a estimativa da área de abóbada celeste visível por uma abertura, a partir de um observador no interior de uma edificação. A proposta da utilização dessa extensão neste trabalho é transformá-la em um aplicativo para ambientes internos, já que foi desenvolvida a partir de situações em escala urbana, e definir o fator de forma para cada posição relativa do aluno em salas de aulas (Figura 1).

Em termos geométricos, qualquer edificação, elemento ou equipamento urbano, pertencente ao plano do observador posicionado na camada intra-urbana, representa uma obstrução à abóbada celeste. A sombra (projeção) dessa edificação na

abóbada celeste é a fração do céu por ela obstruída (SOUZA; RODRIGUES; MENDES, 2003). Na adaptação proposta nesta pesquisa, a estimativa da porção visível da abóbada celeste (FVC) é realizada através da subtração da área compreendida entre a área total da janela até o piso, pela área do parapeito da janela até o piso, determinando como resultado exatamente a área de abertura da janela. Os dados obtidos dessa abertura são cruzados com a posição de cada aluno dentro do ambiente, determinando-se, dessa forma, a porção visível da abóbada para cada aluno.

Ferramenta primordial desta pesquisa, as Redes Neurais Artificiais (RNAs) são aqui utilizadas para determinar as variáveis e estabelecer relações entre elas, desenvolvendo um modelo de nível de iluminância. Em relação à modelagem através de Redes Neurais Artificiais, esta aparece como um substituto potencial aos modelos estatísticos convencionais, devido à fácil interface dos programas com o usuário e à não-necessidade de conhecimento prévio da relação entre as variáveis envolvidas (BRONDINO; SILVA, 1999 apud COSTA, 2003).

Em pesquisas relacionadas à ergonomia e ao conforto ambiental, não é comum o uso de simulações através das Redes Neurais. Talvez o fato deva-se à desinformação em relação às potencialidades desse modelo computacional, visto que é um ótimo recurso para pesquisas que apresentem um conjunto de variáveis interdependentes. Nesta pesquisa é utilizado o software Easy NN-Plus versão 6.0, que foi desenvolvido por Stephen Wolstenholme, com a finalidade de criar, controlar, treinar, validar e testar redes neurais artificiais.

## Metodologia

A metodologia consistiu, primeiramente, em uma definição das escolas e salas de aula a serem estudadas, sendo elas municipais, pertencentes à cidade de Bauru, e do ensino fundamental. Logo após foram realizadas observações prévias ao estudo nas salas, onde foram notadas as condições do edifício e de conforto dos usuários, além do comportamento dos alunos diante dos mecanismos de controle de qualidade do ambiente.

A etapa de levantamento de dados englobou a catalogação de dados luminosos com o auxílio de equipamentos, o levantamento de dados construtivos da edificação e, por fim, a definição das variáveis da pesquisa. Para o levantamento de dados, houve necessidade de adequação com o período letivo, de forma a ser evitado o período de férias. Foram selecionados os meses de maio e novembro, correspondendo ao início de inverno e

de verão, respectivamente. As medições ocorreram sempre pela manhã, das 8h00 às 12h00, pelo fato de as aulas do ensino fundamental serem ministradas nesse período.

Estabelecidas as variáveis, foi feito um modelo de previsão do nível de iluminância das salas de aula, através da aplicação de Redes Neurais Artificiais.

## Região de estudo e definição das escolas pesquisadas

Bauru está situada no Centro-Oeste paulista e pode ser classificada como uma cidade média, com cerca de 340 mil habitantes em 2004 e área de 120 km<sup>2</sup>. Seus parâmetros geográficos variam de 22°15' a 22°24' de latitude sul e 48°57' a 49°08' de longitude oeste, com uma variação de altitude de 500 m a 630 m. Seu clima apresenta uma estação quente e úmida e inverno quente e seco. Esse clima tem como principal característica amplitudes térmicas de valores apreciáveis. Há um desconforto pela temperatura elevada do dia, que minora à noite, principalmente no período seco. A radiação direta é acentuada no verão, chegando a ser mais forte que igual latitude ao nível do mar. A radiação difusa também é mais intensa no verão, se comparada ao inverno. A insolação média dos meses analisados nesta pesquisa é de 7,5 horas/dia para maio e de 7,4 horas/dia para novembro.

A escolha das três escolas baseou-se nas diferentes metodologias de ensino por elas adotadas e seu consequente rebatimento no projeto arquitetônico apresentado. Em cada escola foram selecionadas duas salas que apresentavam aberturas com orientações solares voltadas para leste/oeste (ou com pequenas variações). Portanto, foram seis as salas escolhidas: Sala 06 e 09 na escola Santa Maria, sala 01 e 16 na escola Aníbal Difrância e sala de Português e Inglês no Núcleo de Ensino Renovado. As Figuras 2, 3 e 4 apresentam as plantas das escolas, estando a localização das salas destacada em cada uma delas.

## Observações em campo

O resultado das observações prévias evidenciou uma despreocupação geral dos alunos em relação ao desempenho luminoso das salas (Figura 5). A escala numérica apresentada na Figura 5 corresponde a uma escala semântica, adotada com base em lógica Fuzzy e obtida através de um questionário de opinião, correspondendo aos seguintes aspectos visuais: 0 indica que o aluno não consegue enxergar nada; 0,25 indica dificuldade para enxergar a lousa inteira; 0,75 indica dificuldade para enxergar os lados esquerdo

e direito; 1 indica que o aluno enxerga bem toda a lousa.

A maioria das salas possui dispositivos internos de proteção aos raios solares – cortinas e persianas – pelo alto grau de ofuscamento que os ambientes sofrem (Figura 6). Tais dispositivos, quando fechados, proporcionam níveis insatisfatórios de iluminância no ambiente. Nessa situação, alguns professores optam por acender as luzes (Figura 7), entretanto a maioria ministra aulas com iluminação baixa para a realização de tarefas escolares, e os alunos em observação mostraram-se acomodados com essa situação.

O desconforto relatado pelos alunos é o ofuscamento direto no quadro-negro, chamado de reflexão veladora. Para este não há uma preocupação constante dos professores em sanar o problema, como fechar uma cortina, por exemplo, e foi alvo de reclamação comum nas seis salas analisadas.

Ressalta-se ainda a incompatibilidade em atender simultaneamente o conforto térmico e o luminoso. Embora a utilização de cortinas (e janelas) fechadas permita que o ambiente fique impedido de ofuscamento, possibilitando maior conforto luminoso, em termos de conforto térmico, essa medida pode ocasionar ambientes impróprios para a realização de tarefas, mesmo com recursos artificiais como ventiladores ligados. As cortinas fechadas acabam servindo de barreira à ventilação natural, pois o ar não alcança velocidades apropriadas para se atingir o conforto. Complementa-se ainda que, mesmo o conforto acústico não sendo parâmetro para esta pesquisa, notou-se que o ruído produzido pelos ventiladores ligados eventualmente interfere no andamento das aulas. Tem-se, então, a impossibilidade de maximização dos confortos térmico, luminoso e acústico simultaneamente.

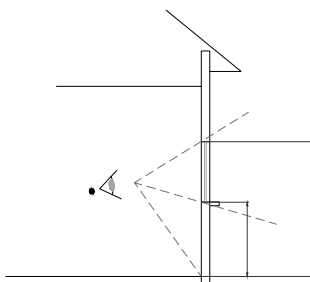


Figura 1 - Visibilidade do céu a partir do interior

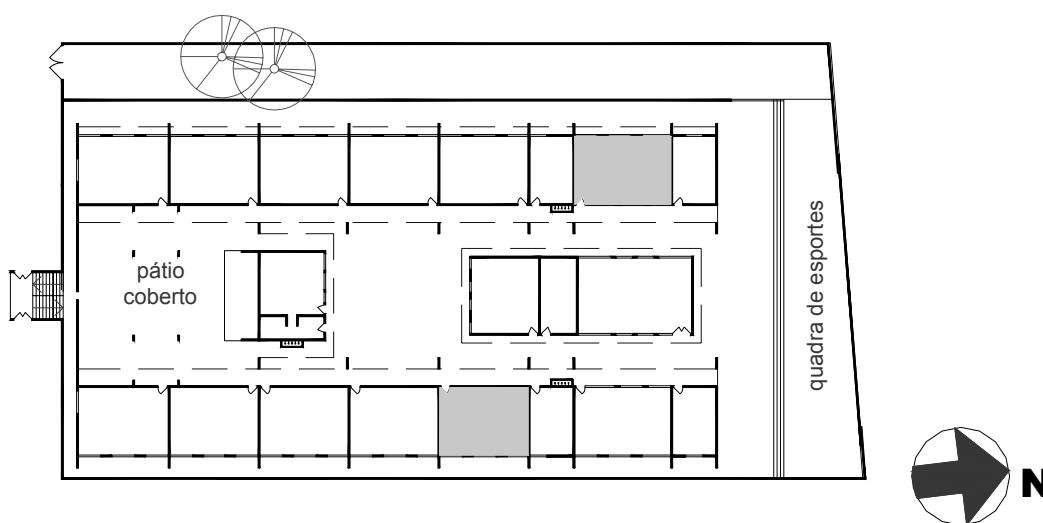


Figura 2 - Planta esquemática da Escola Santa Maria

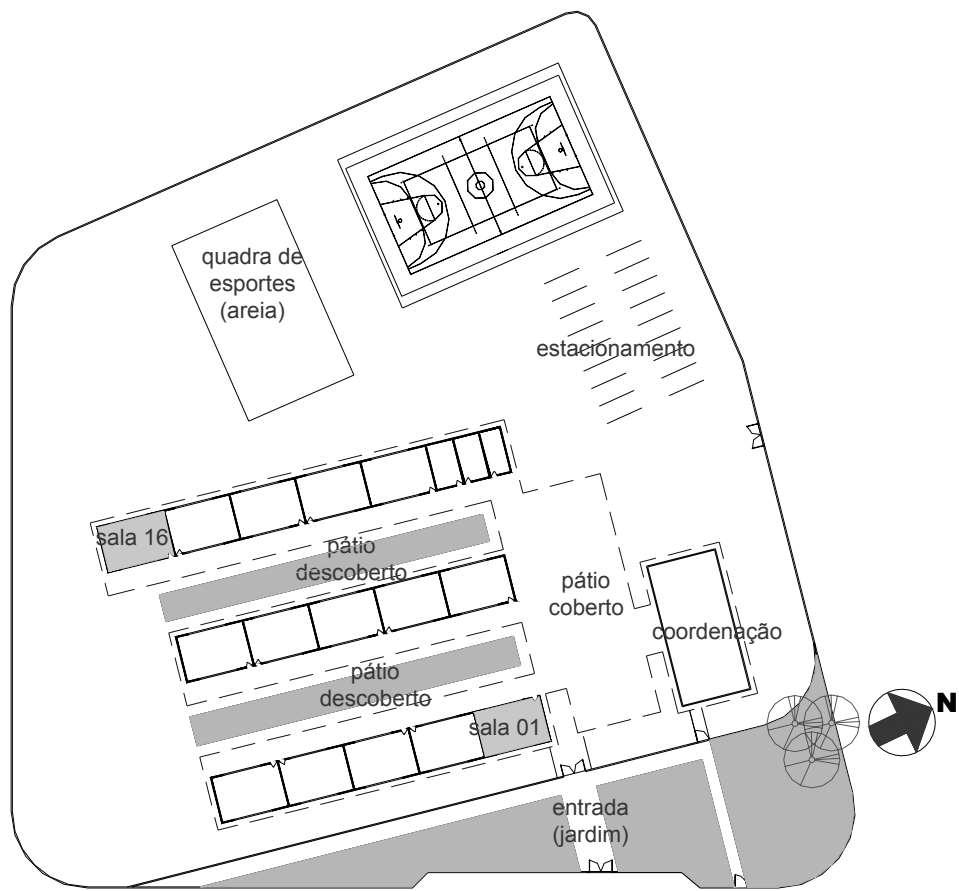


Figura 3 - Planta esquemática da Escola Aníbal Difrância

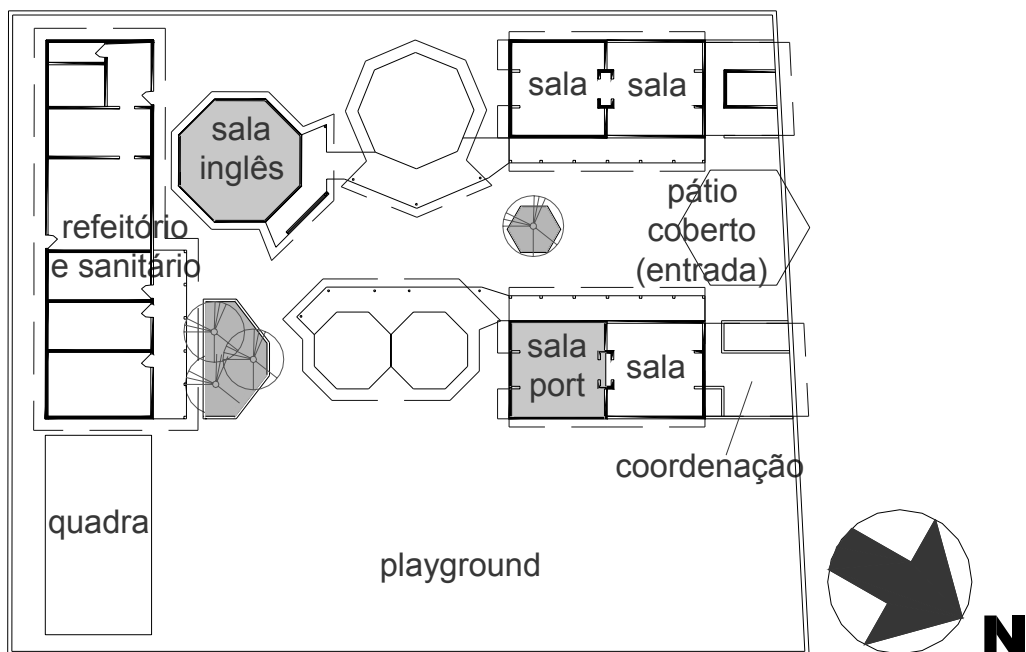


Figura 4 - Planta esquemática do Núcleo Renovado

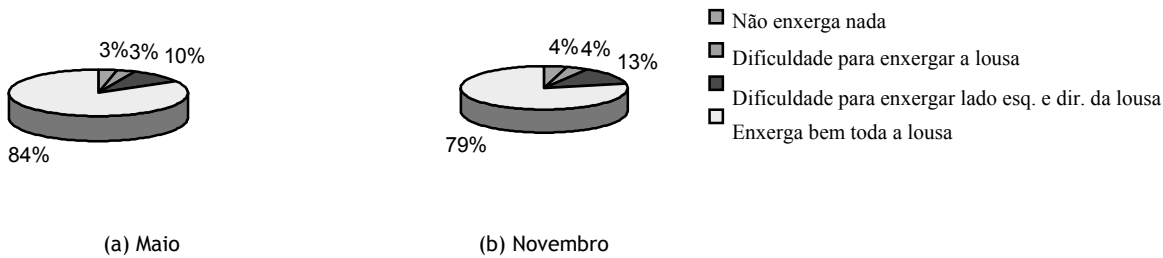


Figura 5 - Satisfação visual - Sala 09



Figura 6 - Situações de ofuscamento protegido pelas cortinas e ofuscamento velador - Sala 09



Figura 7 - Luzes acesas - Sala 16

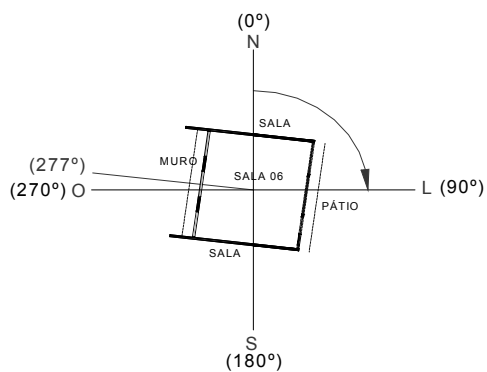


Figura 8 - Forma em função da orientação - Sala 06

## Levantamento de dados luminosos

A fim de realizar-se a coleta de dados, estabeleceu-se que os ambientes estariam em condições determinadas pelos usuários, sem qualquer intervenção do pesquisador, e as condições climáticas seriam relativas a dias típicos de cada mês proposto para estudo, conforme detalhado na seção 3.1 deste artigo. A Tabela 1 mostra os resultados das médias de iluminâncias internas no período da manhã.

Para determinar a importância das cores para o desempenho luminoso do ambiente, é necessário um estudo de suas superfícies internas. Nesse caso, adotou-se a multiplicação da área de cada superfície interna pelo coeficiente de absorvância à radiação solar ( $\alpha$ ), em função da cor relativa de cada elemento. Estabeleceu-se empiricamente uma relação entre as cores das superfícies das salas de aula. Os resultados foram quantificados através da relação de intensidades, considerando-se para isso valores de coeficiente de absorvância indicados pela NBR 15220 (ABNT, 2005). A faixa de variação das variáveis construtivas coletadas, contendo valores de mínimas, médias e máximas, está expressa nas Tabelas 2 e 3.

## Aplicação das redes neurais artificiais

O procedimento constitui-se de duas etapas. A primeira se refere ao desenvolvimento do modelo de previsão, determinando como resultado a tabela de importância das variáveis estabelecidas na coleta de dados construtivos. A segunda etapa consiste de testes de verificação simulando o cruzamento entre as variáveis, o que proporciona uma análise do nível de iluminância das salas de aula.

Esclarece-se que os modelos foram desenvolvidos por redes neurais artificiais aplicando-se o software EasyNN. Nesse tipo de modelagem, ainda que de maneira bastante complexa, é possível a identificação da equação gerada internamente pelo software. Porém, quanto maior o número de variáveis, maior a complexidade para a identificação do modelo desenvolvido pelo software. Silva et al. (2004) apresentam o procedimento detalhado necessário para a identificação do modelo. No entanto, para os objetivos deste trabalho, não foi considerada necessária essa identificação, já que, uma vez gerado o modelo, o software permite elaborar previsões, mesmo sem revelar as suas equações. Essa é uma das vantagens em se aplicarem as redes neurais para o estudo aqui proposto, já que mesmo

sem a identificação do modelo, é possível simular outras situações.

Assim sendo, optou-se por uma abordagem voltada para a identificação da importância das variáveis no modelo. A partir dessa identificação é feita uma análise, considerando-se as que mais influenciam o desempenho visual do aluno em período diurno. A análise permite estudar cada uma das variáveis mais importantes e extrair parâmetros projetuais.

A posição relativa de cada aluno, conforme mencionado anteriormente, foi determinada pela aplicação da extensão *3DSkyView*. Assim, foram gerados valores representativos da área de visibilidade do céu para cada uma das posições dos usuários (Figura 1). Esses valores variam de 0 a 1, sendo 0 a total obstrução da abóbada celeste e 1 a visibilidade de toda a abóbada celeste.

## Desenvolvimento do modelo de previsão

As redes neurais compreendem etapas de treinamento, validação e teste. Para a etapa de treinamento e validação, foram utilizados dados reais coletados, para que o software pudesse identificar padrões e gerar o modelo. Tanto variáveis de entrada como variáveis de saída para a fase de treinamento e validação corresponderam a dados reais. A partir do treinamento com esses dados reais, o padrão foi identificado e o software desenvolveu automaticamente o modelo matemático interno.

Para a variável de “saída” na fase de treinamento e validação foram utilizados os valores de iluminância coletados através do luxímetro. Esses dados são referentes às medições pontuais (posição de cada aluno). As variáveis de “entrada” para a fase de treinamento e validação são as demais, levantadas na coleta de dados construtivos, a saber: cor do piso, cor do forro, cor da parede interna, cor da cortina, orientação, área de abertura e FVC. Foram utilizados dados de todas as salas, sendo divididos em dois modelos: modelos de maio e modelos de novembro. Conforme mencionado anteriormente, os meses de medição foram selecionados em função dos dias letivos comuns às diversas escolas em estudo.

Após vários modelos serem gerados internamente ao programa, iniciou-se a fase de testes. Na fase de testes, os dados reais das variáveis de entrada, que foram separados da amostra previamente e que não entraram na fase de treinamento e validação, foram submetidos à simulação. Os dados de saída, apenas nesta fase, correspondem, portanto, aos dados simulados, podendo posteriormente ser comparados aos reais, já que estes são conhecidos. Isso permite que seja verificado o erro relativo de

cada modelo desenvolvido, verificando-se assim a precisão dos modelos e permitindo a escolha dos melhores resultados. Esse tipo de procedimento é adotado usualmente para que possam ser identificados os erros existentes entre os dados reais e os simulados.

Para efeito de comparação, foram elaborados gráficos de regressão linear de valores reais e simulados, que permitiram revelar os três modelos mais adequados para cada mês, a partir do valor encontrado para o coeficiente de determinação ( $R^2$ ). Nas Tabelas 4 e 5 é possível observar os erros relativos (em %) encontrados entre os valores previstos através das Redes Neurais Artificiais e aqueles medidos, além dos coeficientes de determinação também resultantes dessa comparação.

Cada modelo gerado fornece uma relação de importância entre as variáveis. Os melhores coeficientes de determinação revelam as importâncias das variáveis mais apropriadas para aqueles dados estudados. A Tabela 6 demonstra os resultados das importâncias das variáveis, encontradas para os melhores modelos selecionados e que se encontram indicados em negrito nas Tabelas 4 e 5, para os meses de maio e novembro, em porcentagem.

Em relação às cores das superfícies, os resultados anteriores evidenciam o forro como o elemento mais responsável pelo nível de iluminação de um ambiente, se comparado às paredes e ao piso. As diferenças de porcentagem entre parede e piso chegam, ao máximo, em 2%, enquanto o forro apresenta diferenças de até 8% de importância em novembro, de acordo com a Tabela 6. Sendo assim, as relações entre as três superfícies podem ser expressas como na Tabela 7. Ressalta-se aqui a diferença de porcentagens encontrada para a variável Área de Abertura e FVC. Em maio, a importância da Área de Abertura é de 10%, e o FVC, de 21%, enquanto em novembro esses valores são de 13,2% e de 37,1%, respectivamente.

Em se tratando de duas variáveis que levam em conta as aberturas do ambiente, essa diferença de resultados pode ser relacionada ao fato de que o FVC, além de incluir as aberturas, também discrimina a posição de cada aluno dentro do ambiente e, portanto, gera melhores resultados quando comparado aos níveis de iluminância.

## Simulações

A variável Fator de Visão do Céu (FVC) mostrou-se fundamental em ambos os modelos, alcançando 21% para maio e 37,1% para novembro, mais relevante que a própria orientação solar de cada ambiente estudado. Sendo assim, realizou-se um cruzamento entre os pontos de iluminância medidos com o luxímetro e os pontos de fator de visão do céu para a localização de cada aluno, abrangendo os valores levantados de todas as salas (Figura 9).

Considerando a iluminância geral mínima média a ser atingida em um ambiente de sala de aula de 300 lux e considerando a proporção de 3:1, ideal para contraste entre tarefa e entorno imediato (IIDA, 1990), determinaram-se aqui como valores aceitáveis para iluminação localizada em salas de aula iluminâncias entre 900 e 1.000 lux. Ainda segundo Iida (1990), sabe-se que o rendimento visual é crescente de 10 a 1.000 lux e que valores acima de 1.000 lux distribuídos em grandes porções, em determinados ambientes, podem causar fadiga visual.

Devido à importância dessa variável para a análise do parâmetro luminoso, atribui-se aqui a necessidade de um mapeamento dos valores de iluminação natural para o período da manhã nas plantas das salas de aula. Dessa forma, foi elaborada uma tabela de classificação de níveis de iluminância contendo os resultados obtidos nas curvas do gráfico para os dois meses em questão (Tabela 8).

Escolas	Salas	Média da iluminância interna (lux)	
		Maio	Novembro
Santa Maria	06	334	227
	09	424	478
Aníbal Difrância	01	190	276
	16	348	252
N. Ensino Renovado	Português	372	274
	Inglês	162	174

Tabela 1 - Médias de iluminâncias internas (lux)



	Área (m <sup>2</sup> )			Coeficiente de absorvância (α)			variável (A x α) (m <sup>2</sup> )		
	Min.	Méd.	Máx.	Min.	Méd.	Máx.	Min.	Méd.	Máx.
<b>Parede Interna</b>	61,72	72,50	82,56	0,20	0,23	0,30	13,56	16,67	20,45
<b>Forro</b>	42,86	55,08	82,84	0,20	0,45	0,70	9,80	25,18	58,00
<b>Piso</b>	42,86	55,08	82,84	0,70	0,70	0,70	30,00	38,56	57,99
<b>Cortina (maio)</b>	0	5,56	14,94	0	0,35	0,60	0	2,25	4,69
<b>Cortina (novembro)</b>	0	4,83	14,94	0	0,35	0,60	0	1,64	4,48

Tabela 2 - Faixas de variação das variáveis coletadas

	Orientação (° N)	Área de abertura (m <sup>2</sup> )
Min.	0 (norte)	3,90
Méd.	135,67	7,75
Máx.	277,00	10,20

Tabela 3 - Faixas de variação das variáveis coletadas

Conjunto de dados	Erro relativo médio (%)	r <sup>2</sup>
Modelo gerado 1	25,5	0,81
Modelo gerado 2	23,5	0,88
Modelo gerado 3	27,1	0,86
MÉDIA	25,3	0,85

Tabela 4 - Resultados de simulação para iluminância interna em maio

Conjunto de dados	Erro relativo médio (%)	r <sup>2</sup>
Modelo gerado 1	18,8	0,78
Modelo gerado 2	11,7	0,88
Modelo gerado 3	16,6	0,82
MÉDIA	15,7	0,82

Tabela 5 - Resultados de simulação para iluminância interna em novembro

Nível de iluminância Maio (%)		Nível de iluminância Novembro (%)	
Cor da Cortina	6,7	Cor da Cortina	5,8
Orientação	7,3	Cor do Piso	7,5
Área de Abertura	10	Cor da Parede Interna	9,5
Cor do Piso	11,1	Orientação	11,2
Cor da Parede Interna	12,1	Área de Abertura	13,2
Cor do Forro	15,4	Cor do Forro	15,4
FVC	21	FVC	37,1

Tabela 6 - Relevância das variáveis do parâmetro luminoso para as melhores simulações

Meses	Piso:parede:forro
Maio	0,28:0,31:0,39
Novembro	0,23:0,29:0,47

Tabela 7 - Relações entre a importância das superfícies para a luminosidade do ambiente, baseado em suas cores

Classificação	Nível de iluminância	FVC para maio	FVC para novembro
Baixa	< que 300 lux	< que 0,17	< que 0,17
Média	De 300 a 900 lux	0,17 a 0,21	0,17 a 0,25
Boa	De 900 a 1.000 lux	0,21 a 0,24	0,25 a 0,44
Fadiga visual	> que 1.000 lux	0,24 a 0,44	Não há valores

Tabela 8 - Classificação dos níveis de iluminância de acordo com FVC (Nível de iluminância. relativo)

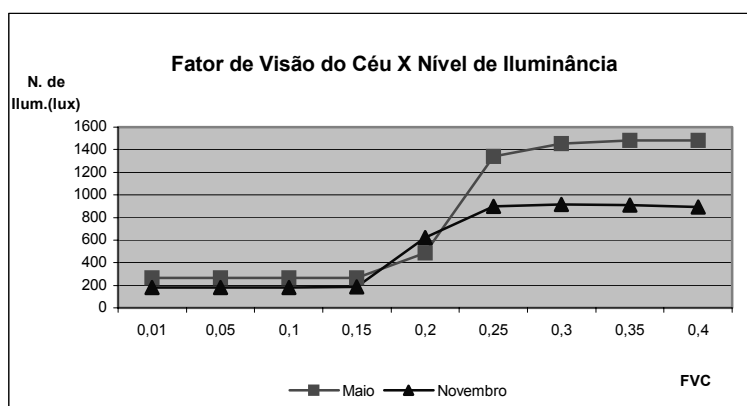


Figura 9 - Iluminância em função do fator de visão do céu

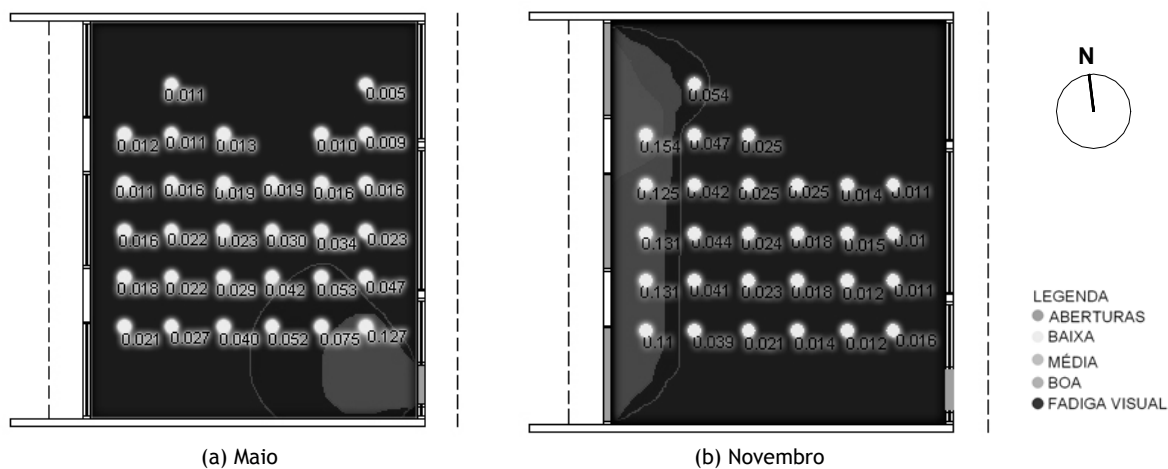


Figura 10 - Pontos de iluminância relativos - Sala 06

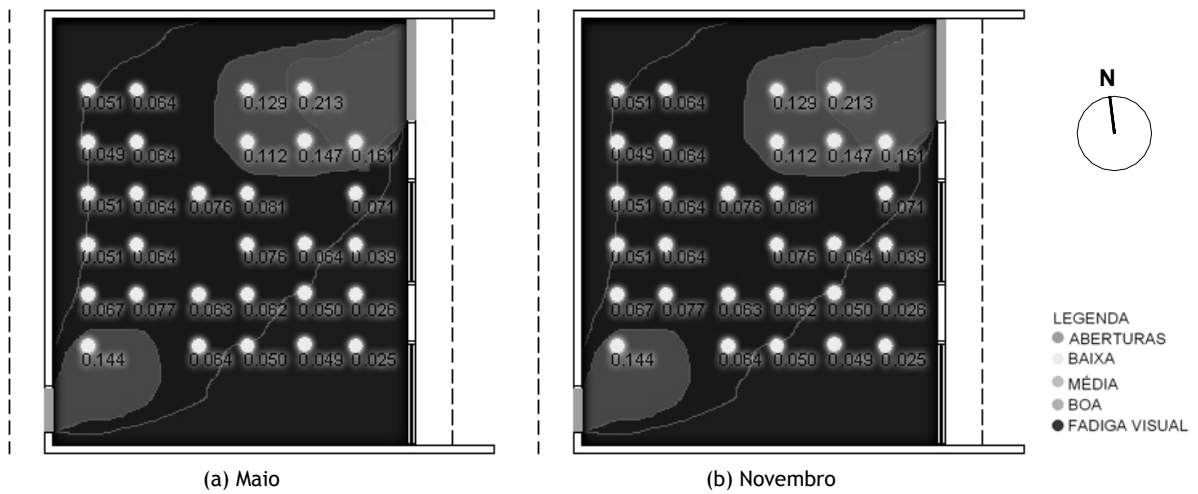


Figura 11 - Pontos de iluminância relativos - Sala 09

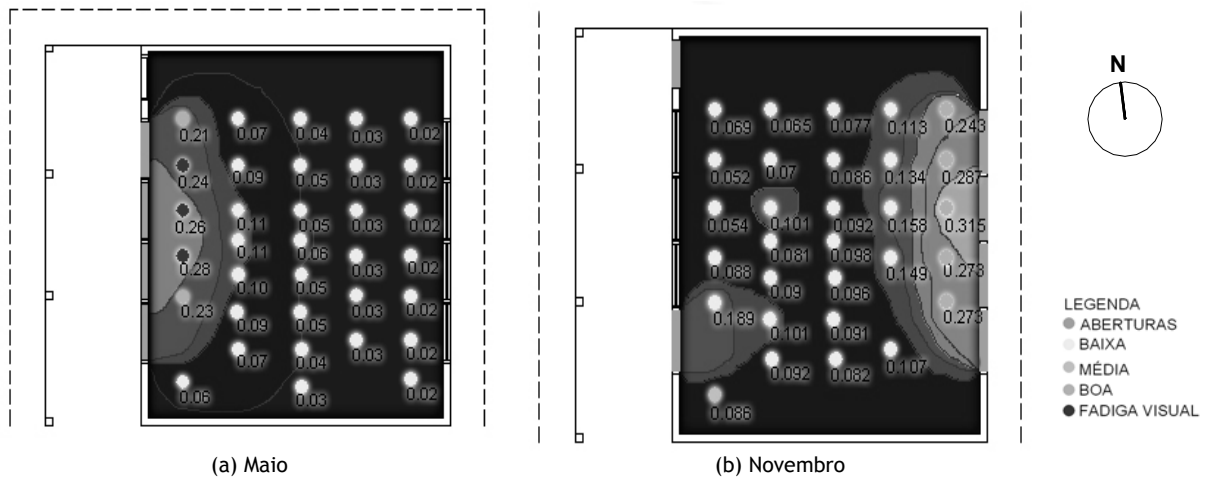


Figura 12 - Pontos de iluminância relativos - Sala 01

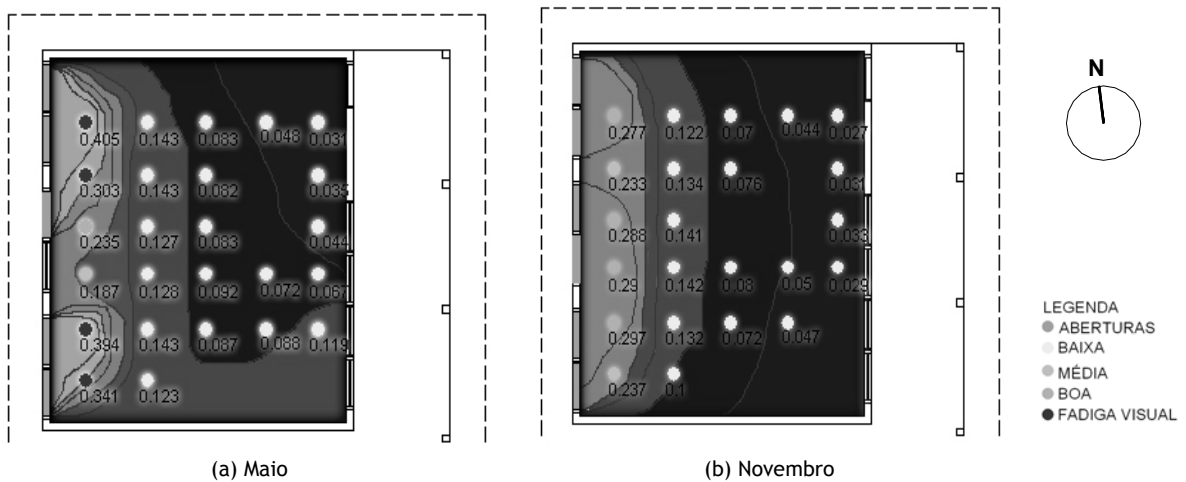


Figura 13 - Pontos de iluminância relativos - Sala 16

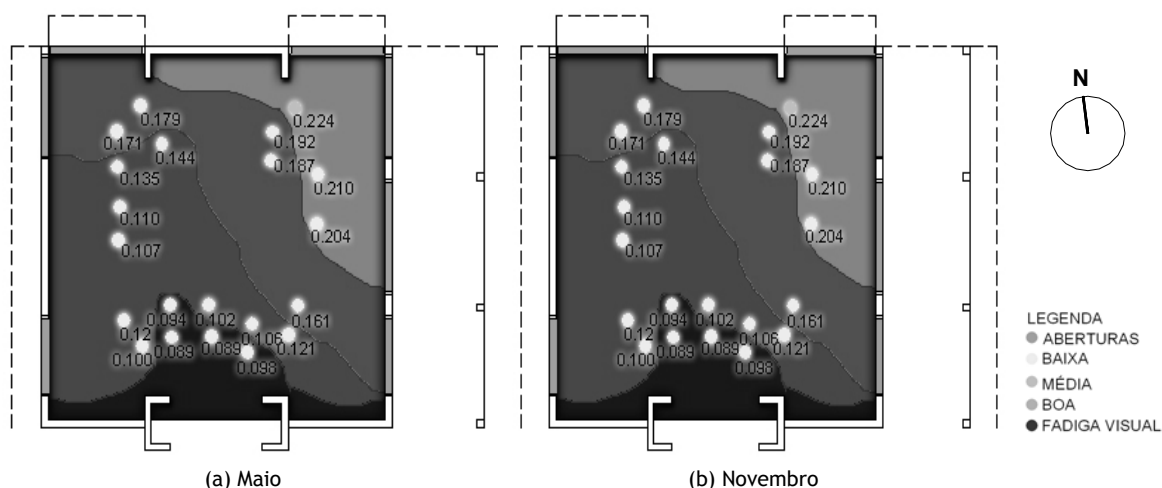


Figura 14 - Pontos de iluminância relativos - Sala Português

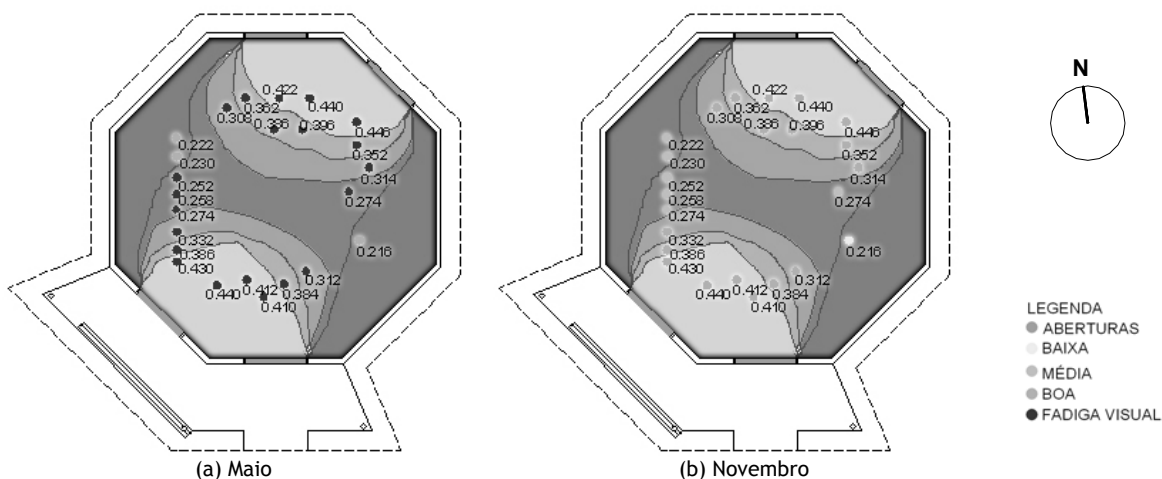


Figura 15 - Pontos de iluminância relativos - Sala Inglês

O mapeamento representado na Figura 15 é da sala de Inglês, no Núcleo de Ensino Renovado, a qual possui um layout diferenciado, com a planta em formato octogonal. As diferentes tonalidades de cinza expressam a distribuição de entrada de luz natural no ambiente, medida através do Fator de Visão do Céu (FVC). Os pontos coloridos referem-se à classificação do nível de iluminância da Tabela 8. O mapeamento mostra que o ambiente apresenta grande entrada de iluminação natural, porém distribuída de uma forma heterogênea e, portanto, errônea, visto a sua função de abrigar tarefas escolares. Somando-se a esse fator a falta de utilização de cortinas, os valores localizados de níveis de iluminância relativos aumentam, podendo provocar fadiga visual em determinados pontos da sala.

As Figuras 10 e 14 referem-se aos mapeamentos da Sala 06, da Escola Santa Maria, e Sala de Português, do Núcleo de Ensino Renovado. Percebe-se, através das manchas, que a sala de Português possui melhor distribuição da iluminação natural, tendo em vista seu formato quadrado. A Sala 06 é retangular e apresenta padrões tradicionais de layout de salas de aula. Esta possui 10,20 m<sup>2</sup> de área de abertura em cada lateral, com cortinas escuras. A Sala de Português, com aberturas simetricamente posicionadas, possui 3,90 m<sup>2</sup> de área de abertura e três paredes do ambiente com cortinas claras. Nota-se que a Sala 06 apresenta uma diferença de 180° em relação à fonte luminosa. Esse fato é decorrente da análise e das medições das salas de aula feitas sob condições de situação típica, ou seja, sem a interferência do pesquisador, com cortinas fechadas aleatoriamente. O mesmo ocorre para a Sala 01.

Já as Salas 09 e 16 são mais homogêneas em relação aos mapeamentos dos diferentes meses em questão. A Sala 16, em maio, apresenta valores mais altos de nível de iluminância do que em novembro. Entretanto, em novembro há um gradiente constante de decréscimo de luz no ambiente, se comparado ao outro mês. Consta-se que, apesar de maio apresentar melhores níveis de iluminância, a possibilidade de ofuscamento e fadiga visual é maior.

A diferença entre os exemplos mostra a importância de uma boa distribuição e orientação das aberturas em relação à quantidade de aberturas. Apesar de serem levados em conta nesse estudo ambientes pequenos, observa-se grande diferença de aproveitamento da luz natural para a localização de cada aluno em ambas as salas.

## Conclusão

Em relação às cores das superfícies, os resultados anteriores evidenciam a cor do forro como o elemento mais responsável pelo nível de iluminância de um ambiente, se comparado às cores das paredes e do piso. Pode ser determinada a relação piso:parede:forro de 0,28:0,31:0,39 para maio e de 0,23:0,29:0,47 para novembro.

As observações demonstraram que os estudantes estão habituados a realizar tarefas em níveis de iluminância baixos ou altos demais, o que provoca fadiga visual. Relatos de desconfortos causados pelo ofuscamento velador do quadro-negro são constantes entre os usuários. Em muitos casos, a situação poderia ser remediada com o movimento de abrir ou fechar portas e cortinas. Isso demonstra o descaso do professor e a priorização do conforto térmico.

Tem-se que os modelos de maio e novembro se mostram com valores diferentes de importância, mas com classificação semelhante para as principais variáveis, o que fortalece a ideia de um possível padrão de modelo para as diferentes estações do ano. Os resultados de importância das Redes Neurais destacaram com uma grande diferença de porcentagem a variável FVC entre as outras simuladas. Por esse motivo seus gráficos apontam resultados favoráveis para serem tabelados e constituírem padrão de metodologia de projeto. Recomenda-se aqui um aprofundamento nas simulações de outras variáveis construtivas a fim de que possam ser seguramente exploradas como a variável FVC.

Em maio, a importância da Área de Abertura é de 10% e a do FVC é de 21%. Em novembro esses valores são de 13,2% e 37,1%, respectivamente. A relação entre os valores de importância das

variáveis Área de Abertura e FVC define a diferença entre quantidade e qualidade de distribuição de luz em ambientes escolares. Isso mostra a importância de uma metodologia que caracterize pontualmente a situação de conforto visual de cada usuário em um ambiente. Essa relação é o principal parâmetro projetual que resulta da pesquisa.

A metodologia das Redes Neurais Artificiais por si só não é um parâmetro projetual, mas sim uma ferramenta valiosa para o tipo de análise aqui proposta, pois resultou em identificações de padrões que, talvez, não fossem possíveis de ser identificados com a rapidez e exatidão obtidas, diante do número de variáveis envolvidas. A partir desses padrões e identificação das variáveis mais importantes, uma análise pôde ser elaborada e os parâmetros projetuais mais importantes para salas de aula puderam ser identificados.

Espera-se que novos estudos possam de fato confirmar as tendências aqui apontadas, para que diretrizes projetuais mais gerais possam ser extraídas, independentemente dos estudos de caso realizados.

## Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5382** – Verificação de Iluminância de Interiores: 1985. Rio de Janeiro: ABNT, 1985.
- BRONDINO, N. C. M.; SILVA, N. A. R. Combining Artificial Neural Networks and GIS for land valuation purposes. In: International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management, 6., Venice, Italy. **Proceedings...** 1999. CD-ROM.
- BROWN, G. Z.; DEKAY, M. **Sol, vento & luz: estratégias para o projeto de Arquitetura**. Tradução de Alexandre Ferreira da Silva Salvaterra. 2. ed. Porto Alegre, RS: Bookman, 2004. 405 p.
- COSTA, P. T. da. **Uma análise do consumo de energia em transportes nas cidades portuguesas utilizando Redes Neurais Artificiais**. 2003. 133 f. Dissertação (Mestrado em engenharia Municipal) – Universidade do Minho, Braga, 2003.
- GRAÇA, V. A. Z. da. **Otimização de projetos arquitetônicos considerando parâmetros de conforto ambiental: o caso das escolas da rede estadual de Campinas**. 2002. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Campinas, Campinas, 2002.
- IIDA, I. **Ergonomia: projeto e produção**. São Paulo: Edgar Blücher, 1990.

LABAKI, L. C.; BUENO-BARTHOLOMEI, C. L. Avaliação do conforto térmico e luminoso de prédios escolares da rede pública, Campinas – SP. In: ENCAC – Encontro Nacional, 6., e Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído, 3., São Pedro, SP, 11 a 14 de novembro de 2001. Segunda Coletânea de Anais dos Encontros Nacionais sobre Conforto no Ambiente Construído. **Anais...** Curitiba, 2003. CD-ROM.

MAIRINC, I.; OCHOA, J. M. **Metodología de análisis de iluminación natural para edificios educativos em clima cálido seco.** In: ENCAC – Encontro Nacional, 6., e Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído, 3., São Pedro, SP, 11 a 14 de novembro de 2001. Segunda Coletânea de Anais dos Encontros Nacionais sobre Conforto no Ambiente Construído. **Anais...** Curitiba, 2003. CD-ROM.

SOUZA, L. C. L. de; RODRIGUES, D. S.; MENDES, J. F. G. *A 3D – GIS extension for Sky View factors assessment in urban environment.* In: International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management, 8., Sendai, Japan, 27-29 May, **Proceedings...** 2003.

SILVA, A. N. R.; RAMOS, R. A. R.; SOUZA, L. C. L.; RODRIGUES, D. S.; MENDES, J. F. G. **SIG: uma plataforma para introdução de técnicas emergentes no planejamento urbano, regional e de transportes.** São Carlos, SP: Ed. dos Autores, 2004.

## **Agradecimentos**

As autoras expressam seus agradecimentos a CAPES e ao CNPq, pelo apoio financeiro em diversas etapas da pesquisa, e ao Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos – USP, pela permissão do uso do software Easy NN.