



REDES NEURAIIS ARTIFICIAIS E 3DSKYVIEW: FERRAMENTAS NA INVESTIGAÇÃO DO CONFORTO LUMINOSO EM AMBIENTES ESCOLARES

Paula Roberta Pizarro (1); Léa Cristina Lucas de Souza (2)

(1) Departamento de Arquitetura e Urbanismo – Universidade Paulista,
Brasil - e-mail: paulapazr@hotmail.com

(2) Departamento de Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo – FAAC – Faculdade de Arquitetura,
Artes e Comunicação - Universidade Estadual Paulista,
Brasil – e-mail: leacrist@faac.unesp.br

RESUMO

Proposta: O conforto ambiental em arquitetura de escolas públicas não é considerado sistematicamente como requisito de projeto, sendo que um dos obstáculos é 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. **Método de pesquisa/ Abordagens:** 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 modelação das relações entre as variáveis levantadas. **Resultados:** Os resultados mostraram que os estudantes estão habituados a realizar tarefas em 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, 21% para mês de maio e 37,1% para mês de novembro. Isto mostra a importância da posição do usuário em relação à localização da janela para o conforto luminoso. **Contribuições/Originalidade:** Utilização da extensão 3DSkyView, para determinação da área visível em ambientes internos. Utilização das Redes Neurais Artificiais para modelar as variáveis de conforto luminoso.

Palavras-chave: Redes Neurais Artificiais, conforto luminoso, escolas.

ABSTRACT

Proposal: Environmental comfort in public school buildings is often not seen as a project parameter 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 lighting comfort variables. **Research method/Approach:** The research approach consists in the observation of the users' behavior with different illuminance levels of the environment. Two methodological tools are applied: the 3DSkyView extension, which was used for determining sky view factors, and Artificial Neural Networks, which were applied for modeling the variables relationships. **Results:** The results showed that students are used to develop tasks either under too high or under too low illuminance values. When compared to the other variables studied, sky view factor had the highest relevance for visual comfort, assuming an importance level of 21% in May and 37,1% in November. This result reveals that the users' location in classrooms, in relation to the window, determines its natural lighting comfort. **Contribution/Originality:** The application of the 3DSkyView extension to determine the visible sky area for analyzing indoor lighting comfort is one of the contributions of this work. Use the artificial neural networks for modeling the lighting comfort in classrooms.

Keywords: Artificial Neural Networks, lighting comfort, schools.

1 INTRODUÇÃO

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, esta relação é negligenciada e as condições de conforto não são consideradas como parâmetros de projetos em salas de aula.

Para o bem estar do usuário e seu melhor desempenho, os projetos de edifícios escolares devem contemplar muitas variáveis ambientais simultaneamente. Entretanto, muitos requisitos de projeto para favorecimento de uma destas variáveis ambientais específicas podem representar uma queda no desempenho do edifício para outras variáveis. Segundo Graça & Kowaltowski (2003), não é possível maximizar todos os tipos de conforto ao mesmo tempo, mas sim encontrar um conjunto de soluções de compromisso. Para isso, são necessários estudos que determinem e analisem a importância de cada variável para o desempenho do edifício.

Esta pesquisa estabelece o parâmetro luminoso como elemento a ser investigado. Como forma de se estimar a influência da posição do aluno na iluminação natural por ele recebida, propõe-se aqui a utilização da extensão *3DSkyView*. Ainda, são feitas modelagens matemáticas através da aplicação de um software de simulação de Redes Neurais Artificiais (RNA), identificando-se assim a importância das variáveis construtivas. Considera-se a cidade de Bauru como área de pesquisa, sendo estudadas três escolas de ensino fundamental da rede pública municipal.

2 OBJETIVO

Identificar e determinar as importâncias das variáveis que caracterizam o nível de conforto luminoso dos alunos em salas de aulas, além de desenvolver um modelo de previsão e análise do grau de iluminância do ambiente escolar.

3 METODOLOGIA

A metodologia consiste 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 de fato nas salas, onde são notadas as condições do edifício e de conforto dos usuários, além do comportamento dos alunos frente aos mecanismos de controle de qualidade do ambiente.

A etapa de levantamento de dados engloba a catalogação de dados luminosos com o auxílio de equipamentos, levantamento de dados construtivos da edificação para enfim definir as 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 (dezembro, janeiro, fevereiro, junho, julho e agosto). Portanto foram escolhidos os meses de maio e novembro, correspondendo a início de inverno e verão, respectivamente. As medições ocorreram sempre pela manhã, das 08:00 às 12:00, pelo fato do ensino fundamental ser ministrado neste período.

Após estabelecidas as variáveis estabelecidas, foi feito um modelo de previsão do grau de iluminância das salas de aula.

3.1 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 km². 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 a 630m. Seu clima apresenta uma estação quente e úmida e inverno quente e seco. Este clima tem como principal característica amplitudes térmicas de valores apreciáveis. Há um desconforto pela

temperatura elevada do dia, minorado à noite, principalmente no período seco. As radiações diretas são acentuadas no verão, chegando a ser mais fortes que igual latitude ao nível do mar. As radiações difusas também são mais intensas no verão, se comparadas ao inverno. As insolações médias dos meses analisados nesta pesquisa são de 7,5 horas/dia para maio e 7,4 horas/dia para novembro.

A escolha das três escolas baseou-se nas diferentes metodologias de ensino por elas adotadas e seu conseqüente rebatimento no projeto arquitetônico apresentado. Em cada escola foram selecionadas duas salas que apresentavam orientações solares de aberturas mais críticas para o estudo em questão. 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”.

3.2 Observações prévias em campo

O resultado das observações prévias evidenciou uma despreocupação geral dos alunos em relação à performance luminosa das salas. A maioria das salas possui dispositivos internos de proteção aos raios solares – cortinas e persianas – pelo alto grau de ofuscamento que os ambientes sofrem. Tais dispositivos, quando fechados, proporcionam níveis insatisfatórios de iluminância no ambiente. Nesta situação, alguns professores optam por acender as luzes, entretanto, a maioria ministra aulas com iluminação baixa para tal tipo de tarefa, e os alunos em observação mostraram-se acomodados com esta situação (figura 03).



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 01 – Situações de ofuscamento, proteção das cortinas e ambiente escuro (a) e luzes acesas (b). Ofuscamentos causado pela cortina aberta (c) e ofuscamento velador (d).

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, fechando uma cortina, por exemplo, e foi um alvo de reclamação comum nas seis salas analisadas (figura 03).

Ressalta-se ainda a preocupação na depreciação de conforto térmico. Embora a utilização de cortinas fechadas permita que o ambiente fique impedido de ofuscamento, em muitas ocasiões as salas se tornam ambientes impróprios para a realização de tarefas, mesmo com ventiladores ligados. Tem-se então a impossibilidade de maximização dos confortos simultaneamente.

3.3 Levantamento de dados luminosos

A fim de se realizar a coleta de dados estabeleceu-se que os ambientes estariam em condições determinadas pelos usuários, sem qualquer intervenção do pesquisador.

Para a coleta de dados luminosos é utilizado o luxímetro digital LX – 101 da Luxtron, posicionado no plano horizontal a uma distância de 80 cm do piso e obedecendo aos pontos de iluminância de interiores fixados pela NBR 5382 – ABNT. O período de estabilização do aparelho para que se iniciem as medições varia de 5 a 10 minutos.

3.4 Levantamento de dados construtivos

Para determinação das variáveis construtivas foram considerados os parâmetros, forma e orientação, conjuntamente. A orientação predominante de cada sala teve, como parâmetro, a parede com maior área de abertura, sendo que os ângulos foram obtidos a partir do Norte. A área de abertura foi catalogada como áreas vitrificadas, abertas ou não, com ou sem proteção de cortinas. A figura 04 representa a ilustração da sala 06, da escola “Santa Maria” indicando sua forma em função da orientação.

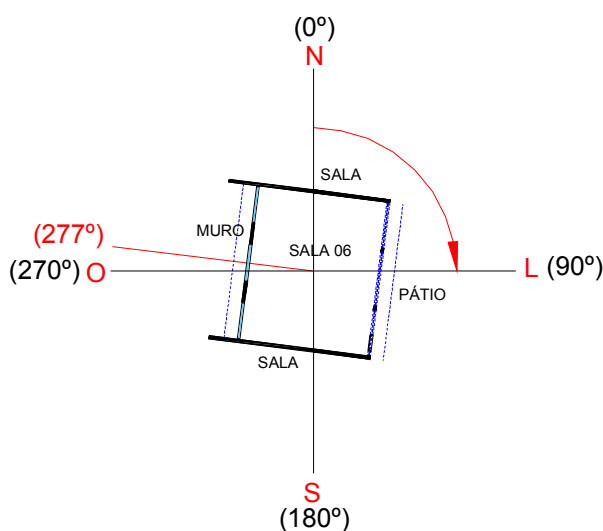


Figura 02 – Orientação da planta da sala 6

Para determinar a importância das cores para a performance luminosa do ambiente é necessário um estudo de suas superfícies internas. Neste caso, adotou-se a multiplicação da área de cada superfície interna pelo coeficiente de absorção (α) em função da cor relativa de cada elemento. Estabeleceu-se empiricamente uma relação entre as cores das superfícies das salas de aula e os resultados foram quantificados através da classificação expressa na tabela 01.

Tabela 01 – Coeficientes de absorção (α) adotados

CORES	COEFICIENTE DE ABSORÇÃO (α)
Claras	0,2 a 0,5
Médias	0,5 a 0,7
Escuras	0,7 a 0,9

Outro dado construtivo necessário foi o fator de visão do céu (FVC). Como é a abóbada celeste uma das principais fontes de luz natural, esta área torna-se um elemento determinante do conforto visual do usuário dentro da edificação. Esta visão do céu fica delimitada pela área de janela da sala de aula e para cada posição relativa de um aluno existe uma fração visível do céu específica, apesar da área da janela da sala ser sempre a mesma.

Na determinação do fator de visão do céu foi utilizada a extensão *3DSkyView*, criada por Souza, Rodrigues & Mendes (2003). Esta 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. A proposta da utilização desta 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 01).

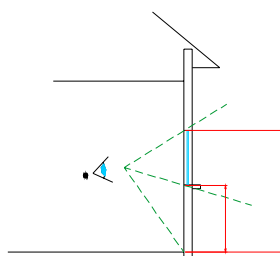


Figura 03 – Visibilidade do céu a partir do interior.

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 desta abertura são cruzados com cada localização de aluno dentro do ambiente, determinado-se desta forma, a porção visível da abóbada celeste para cada aluno (figura 02). Dessa maneira foram gerados valores representativos da área de visibilidade do céu para cada uma das posições dos usuários (Figura 01). Estes valores variam de 0 a 1, sendo 0 a total obstrução da abóbada celeste e 1 a visibilidade de toda a abóbada celeste.

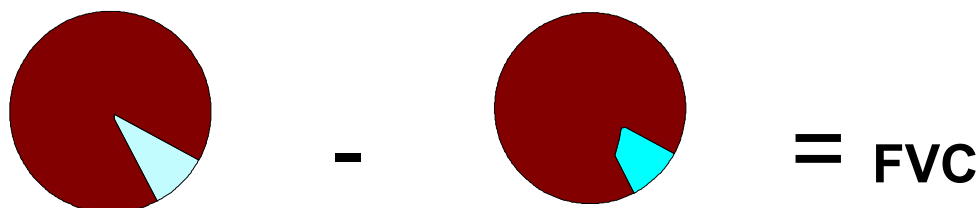


Figura 04 – Subtração da projeção estereográfica da área total da janela até o piso pela área do parapeito até o piso, resultando no Fator de Visão do Céu.

3.5 Redes Neurais Artificiais

Outra ferramenta primordial desta pesquisa, as Redes Neurais Artificiais (RNAs) são aqui utilizadas para determinar as variáveis e estabelecer relações entre elas, desenvolvendo um modelo para o grau de iluminação dentro de salas de aula. 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 a não necessidade de conhecimento prévio da relação entre as variáveis envolvidas (BRONDINO, 1999 apud COSTA, 2003).

Em pesquisas relacionadas à ergonomia e 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 será utilizado o software Easy NN.

O procedimento constitui de duas etapas que conferem resultados. 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, proporcionando uma análise do grau de iluminação das salas de aula.

4 DESENVOLVIMENTO DO MODELO DE PREVISÃO

A variável de “saída” dos modelos das Redes compreende os valores de iluminação coletados através do luxímetro, sendo que as variáveis de “entrada” são as demais, levantadas na coleta de dados construtivos. São elas: fator de visão do céu, orientação, área de abertura, cor do forro, cor da parede interna, cor do piso e cor da cortina.

Vários modelos foram rodados, gerando resultados, dos quais apenas os que obtiveram melhor desempenho foram selecionados. A medida de desempenho do modelo foi estabelecida através do coeficiente de determinação R^2 , obtido para cada um dos modelos desenvolvidos. Nas tabelas 02 e 03 é possível observar os erros relativos existentes entre os valores previstos através das Redes Neurais Artificiais e aqueles medidos, além dos coeficientes de determinação também resultantes da comparação entre os dados reais e os estimados.

Tabela 02 – Erros relativos e Coeficiente de Determinação de alguns dos modelos gerados para o mês de maio

CONJUNTO DE DADOS	ERRO RELATIVO MÉDIO	R^2
LM1	25.5	0.81
LM2	23.5	0.88
LM3	27.1	0.86
MÉDIA	25.3	0.85

Tabela 03 – Erros relativos e Coeficiente de Determinação de alguns dos modelos gerados para o mês de novembro

CONJUNTO DE DADOS	ERRO RELATIVO MÉDIO	R^2
LN1	18.8	0.78
LN2	11.7	0.88
LN3	16.6	0.82
MÉDIA	15.7	0.82

A tabela 04 mostra os resultados das importâncias de variáveis, em porcentagem.

Tabela 04 – Relevância das variáveis do parâmetro luminoso para as melhores simulações, em %

GRAU DE ILUMINÂNCIA MAIO		GRAU 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

Em relação às cores das superfícies os resultados anteriores evidenciam o forro como o elemento mais determinante do grau de iluminância de um ambiente, se comparado às paredes e ao piso. As diferenças de porcentagem entre parede e piso chegam, ao máximo, de 2%, enquanto que o forro apresenta diferenças de até 8% de importância em novembro. Sendo assim, as relações entre as três superfícies podem ser expressas como na tabela 05.

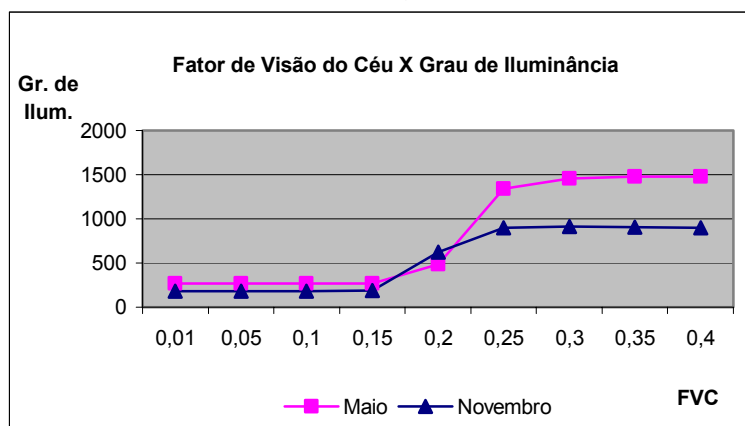
Tabela 05 – Relações entre a importância das superfícies para a luminosidade do ambiente, baseado em suas cores

MESES	PISO:PAREDE:FORRO
Maio	0,28:0,31:0,39
Novembro	0,23:0,29:0,47

4.1 Avaliação dos Resultados das 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 (gráfico 01).

Gráfico 01 – Iluminância em função do Fator de Visão do Céu



Considerando a iluminância geral mínima média a ser atingida em um ambiente de sala de aula sendo 300 lux e, considerando a proporção de 3:1, ideal para contraste entre tarefa e entorno imediato, determinam-se aqui como valores aceitáveis para iluminação localizada em salas de aula iluminâncias entre 900 e 1000 lux. Ainda, sabe-se que o rendimento visual é crescente de 10 a 1000 lux e que, valores acima de 1000 lux distribuídos em grandes porções, em determinados ambientes, podem causar fadiga visual.

Considerando a importância desta variável para a análise do parâmetro lumínico, atribui-se aqui a necessidade de um mapeamento dos valores de iluminação natural nas plantas das salas de aula. Desta forma foi elaborada uma tabela de classificação de graus de iluminância, contendo os resultados obtidos nas curvas do gráfico para os dois meses em questão (tabela 06).

Tabela 06 – Classificação dos níveis de iluminância de acordo com FVC (grau de ilum. relativo)

CLASSIFICAÇÃO	GRAU DE ILUMINÂNCIA	FVC PARA MAIO	FVC PARA NOV.
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 1000 lux	0,21 a 0,24	0,25 a 0,44
Fadiga visual	> que 1000 lux	0,24 a 0,44	Não há valores

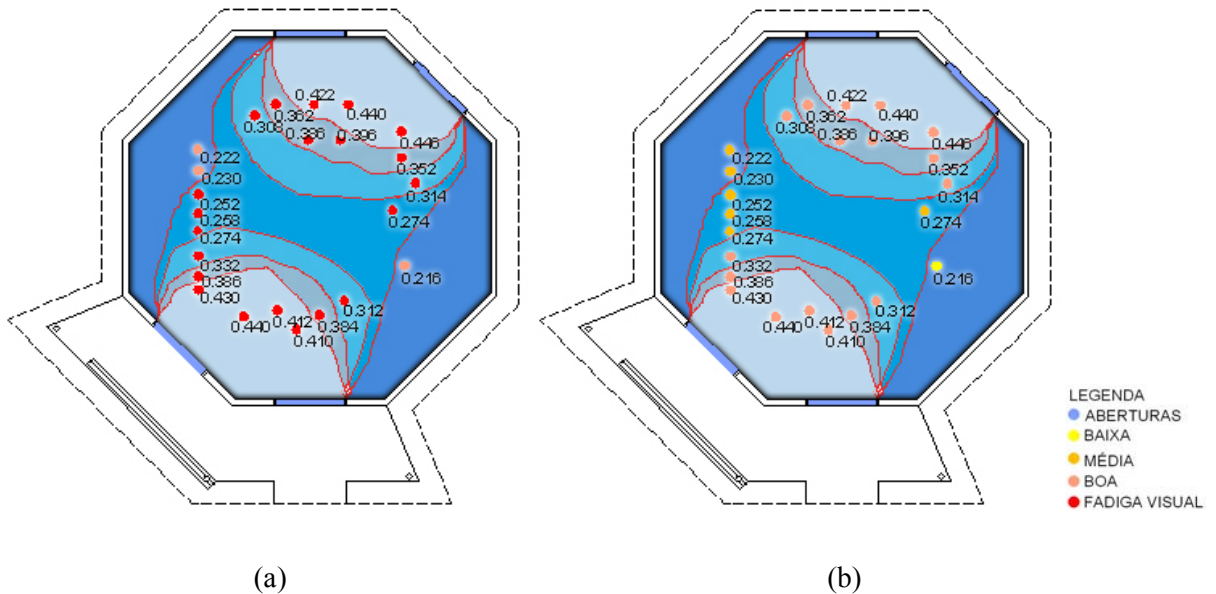


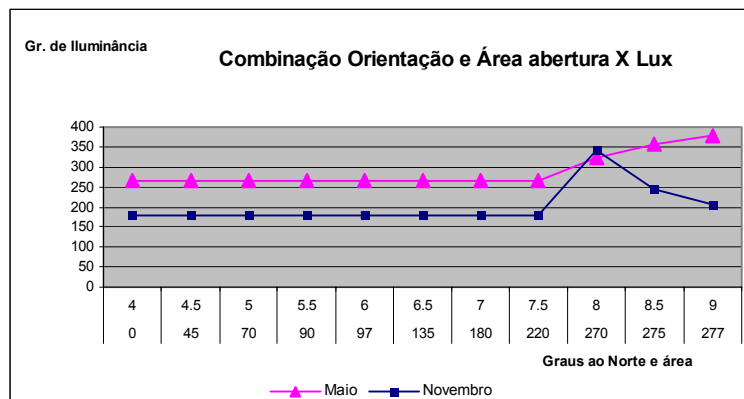
Figura 05 – Pontos de iluminância relativos da sala Inglês em maio (a) e sala de Inglês em novembro (b)

A sala que exemplifica o mapeamento (figura 05) é a sala de Inglês, no Núcleo de Ensino Renovado, a qual possui um lay-out diferenciado, com a planta em formato octogonal. As diferentes tonalidades de azul 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 grau de iluminância da tabela 06. A orientação de suas principais aberturas foi catalogada como sendo 0° ao Norte (figura 04), o mesmo que exatamente direcionada à orientação solar Norte. 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 este 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.

A fim de otimizar os resultados das Redes Neurais Artificiais, foram realizados treinamentos com

algumas combinações de variáveis que possuem características passíveis de serem analisadas conjuntamente. À modelagem da variável Área de Abertura foram adicionados os dados da variável Orientação e as curvas dos dois meses são representadas no gráfico a seguir.

Gráfico 02 –Iluminância em função da Orientação e Área de Abertura



Da mesma forma que o gráfico representativo do fator de Visão do Céu, as curvas de Orientação e Área de Abertura apresentam maiores níveis para maio. Apontam para um aumento no grau de iluminação a partir de 7,5m² de Área de Abertura no ambiente, ainda que os níveis de iluminação descritos no gráfico sejam insatisfatórios se considerados como pontos localizados em salas de aula (tabela 06).

Os resultados permitem concluir que, em relação às cores das superfícies, a cor do forro é o elemento mais responsável pelo grau de iluminância de um ambiente, se comparado às cores das paredes e do piso, podendo ser determinada a melhor relação piso:parede:forro de 0,28:0,31:0,39 para maio e 0,23:0,29:0,47 para novembro.

Em relação à entrada de iluminação natural a área mínima de abertura tolerada para salas de aula é de 7,5m².

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 idéia de um possível padrão de modelo para as diferentes estações do ano e ainda, intensifica sua relação com o estudo da iluminação natural penetrante no ambiente em função da posição do usuário analisado por esta pesquisa (Fator de visão do céu).

A metodologia das Redes Neurais Artificiais revelou-se como uma ferramenta valiosa para o tipo de análise aqui proposta, pois resultou em identificações de padrões, que talvez não fossem possíveis de serem identificados com a rapidez e exatidão obtidas, devido ao número de variáveis envolvidas.

Ainda, as observações demonstraram que os estudantes estão habituados a realizar tarefas em índices de iluminância baixos ou altos demais, os quais provocam a 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, portanto, demonstram o descaso do professor e a preocupação em depreciar o conforto térmico. Ainda que esta não seja a melhor opção do ponto de vista do gasto energético, o uso mais freqüente de iluminação artificial é necessário.

5 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. Combinig Artificial Neural Networks and GIS for land valuation purposes. In: **Proc. 6 International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Manegement**, Venice – Italy, 1999. CD-ROM.

COSTA, P.T. da. **Uma análise do consumo de energia em transportes nas cidades portuguesas utilizando Redes Neurais Artificiais**. 2003. 133f. Dissertação (Mestrado em engenharia Municipal) – Universidade do Minho, Braga, 2003.

GRAÇA, V.AZ.; KOWALTOWISKI, D.C.C.K. Metodologia de avaliação de conforto ambiental com o conceito de otimização multicritério para projetos escolares. In: **ENCAC – VIII Encontro Nacional e IV Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído**. Curitiba, 5-7 de novembro, 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: **Proc of the 8 International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Manegement**. Sendai, Japan, 27-29 may, 2003.

6 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 pela disponibilização do software Easy NN.