

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Johny Berti

**SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE ILUMINAÇÃO DO
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E
TECNOLOGIA – UNIDADE FELIZ**

Porto Alegre
dezembro 2009

JOHNY BERTI

**SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE ILUMINAÇÃO DO
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA – UNIDADE FELIZ**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientador: Miguel Aloysio Sattler

Porto Alegre
dezembro 2009

JOHNY BERTI

**SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE ILUMINAÇÃO DO
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA – UNIDADE FELIZ**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, dezembro de 2009

Prof. Miguel Aloysio Sattler
PhD. pela University of Sheffield
Orientador

Profa. Carin Maria Schmitt
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Prof. Miguel Aloysio Sattler (UFRGS)
PhD. pela University of Sheffield

Prof. arquiteta Eugenia Aumond Kuhn (UFRGS)
Mestre em Engenharia Civil pela UFRGS

Arquiteta Carolina Barlem Gemelli
Mestre em Engenharia Civil pela UFRGS

Dedico este trabalho a minha namorada, Daniela Andrade de Souza, que sempre me apoiou durante a graduação e esteve ao meu lado quando necessário.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Miguel Aloysio Sattler, orientador deste trabalho, por me aceitar como orientando, pelas idéias sugeridas, aprendizado e contribuições, diretas ou indiretas, para com este trabalho realizado.

Agradeço ao colega de graduação, Daniel Thomas Bündchen que partilhou das dificuldades em desenvolver um trabalho de conclusão de curso utilizando o mesmo *software*.

Agradeço aos bolsistas e estudantes de arquitetura, Ana Luisa Seixas e André Cavedon Ripoll, pelo tempo disponibilizado e ajuda na aquisição de plantas.

Agradeço a mestranda Arquiteta Christiane Cunha Krum, pelas medições in loco utilizadas neste trabalho, auxílio e companhia durante o dia de medições na Feliz.

Agradeço a Profa. Carin Maria Schmitt, pelo acompanhamento durante duas tentativas frustradas de iniciar o trabalho de conclusão e dois semestres sanando dúvidas, corrigindo erros e guiando acertos.

In God we trust, anybody else bring data!

Edward Deming

RESUMO

BERTI, J. **Simulação computacional de iluminação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia – Unidade Feliz**. 2009. 81 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Este trabalho apresenta simulações computacionais de iluminação nas dependências de uma unidade do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, localizado na cidade de Feliz/RS. Trata-se de uma edificação escolar que, entre outros aspectos destacáveis, apresenta um projeto de aproveitamento lumínico da luz natural, uma fonte de luz mais intensa e agradável, sem custo de utilização e ambientalmente correta. O estudo foi desenvolvido com uso do *software* Ecotect, tendo como caso estudado uma das salas de aula já edificadas no local. Para a modelagem computacional da situação real da sala foram considerados os elementos que a compõem, com base em mensurações feitas no local, durante uma visita técnica, dados do projeto arquitetônico e memorial descritivo da obra. O objetivo das simulações ficou centrado na análise do Fator de Luz Diurna. Portando utilizando-se como céu de projeto a condição de céu encoberto com intensidade fornecida pelo *software*. Caracterizado, principalmente, pela geometria e localização geográfica da edificação, o Fator de Luz Diurna possibilitou uma correta percepção da distribuição das iluminâncias naturais, dentro do ambiente estudado. O trabalho apresenta, também, uma proposta de uma nova configuração dos sistemas de iluminação para a sala estudada e seus resultados lumínicos, além de resultados obtidos mediante medições *in loco* de iluminância, no mesmo local simulado. Ao analisar os resultados obtidos pela simulação, constatou-se que a distribuição das iluminâncias no interior da sala de aula apresenta valores bem distribuídos, porém não se pode inferir se estas distribuições garantem condições de uso para a sala. A contribuição de iluminação do sistema de prateleira de luz não demonstrou bons resultados nas condições de céu encoberto. O modelo proposto apresentou um bom resultado na uniformização do Fator de Luz Diurna interno, porém reduzindo a intensidade das iluminâncias presentes.

Palavras-chave: simulação computacional; conforto lumínico; iluminação natural.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: delineamento do trabalho	16
Figura 2: formas de reflexão	20
Figura 3: tipos de ofuscamento	23
Figura 4: iluminância da luz do dia direta do sol e em diferentes condições de céu	27
Figura 5: tipos de céu	28
Figura 6: equinócios e solstícios	29
Figura 7: decaimento luminoso em janelas e curvas isolux	31
Figura 8: prateleira de luz utilizada em uma abertura lateral	32
Figura 9: prateleira de luz utilizada em uma abertura zenital	32
Figura 10: vista aérea dos blocos C, D e E da Unidade Feliz do Ifet	34
Figura 11: vista da fachada sul dos blocos C, D e E em fase final de execução, maio de 2007	35
Figura 12: localização da sala estudada	36
Figura 13: fotos internas das janelas inferiores da fachada norte (esquerda) e fachada sul (direita)	37
Figura 14: janelas superiores e prateleira de luz	38
Figura 15: distribuição da malha no interior da sala estudada e quadro	41
Figura 16: condições de céu sobre a Unidade Feliz do Ifet no dia 15 de out. de 2009	42
Figura 17: representação em falsecolor do FLD médio medido in loco	46
Figura 18: configurações de simulação para uso do Ecotect 2010	48
Figura 19: configurações de simulação no Ecotect 5.5 para uso no <i>software</i> Desktop Radiance	49
Figura 20: modelo do caso real desenvolvido no Ecotect, visão interna	51
Figura 21: modelo do caso real desenvolvido no Ecotect, visão externa	51
Figura 22: simulação computacional do modelo real com pontos posicionados segundo medição in loco	55
Figura 23: simulação computacional do modelo real com visualização em linhas de nível e malha refinada	56
Figura 24: visualização do ambiente simulado, com renderização gerada pelo Desktop Radiance	57
Figura 25: modelos gerados no Ecotect para estudo da prateleira de luz, caso 1 (esquerda) e caso 2 (direita)	57
Figura 26: resultado obtido para o caso 1 de estudo da prateleira de luz (sem prateleira de luz)	58
Figura 27: resultado obtido para o caso 2 de estudo da prateleira de luz (sem janelas inferiores)	58

Figura 28: modelo proposto desenvolvido no Ecotect, visão interna	61
Figura 29: modelo proposto desenvolvido no Ecotect, visão externa	61
Figura 30: resultado de FLD obtido para o modelo proposto	62
Figura 31: visualização em do ambiente simulado com renderização gerada pelo Desktop Radiance	63

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: valores sugeridos de iluminância para uma edificação escolar	25
Quadro 2: medições realizadas as 9:15h e valores de FLD calculados	42
Quadro 3: medições realizadas as 11:15h e valores de FLD calculados	43
Quadro 4: medições realizadas as 13:15h e valores de FLD calculados	44
Quadro 5: medições realizadas as 15:15h e valores de FLD calculados	45
Quadro 6: valores de FLD médio calculado	46
Quadro 7: índices físicos utilizados nos modelos simulados	53
Quadro 8: valores de FLD adquiridos através de simulação computacional e medidos in loco	54
Quadro 9: áreas de janelas por fachada do modelo real e da proposta apresentada	60

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 MÉTODO DE PESQUISA	14
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	14
2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO	14
2.2.1 Objetivo Principal	14
2.2.2 Objetivos Secundários	14
2.3 PRESSUPOSTO	15
2.4 DELIMITAÇÕES	15
2.5 LIMITAÇÕES	15
2.6 DELINEAMENTO	15
2.6.1 Pesquisa bibliográfica e pesquisa em Norma Técnica	16
2.6.2 Levantamento de dados em campo	16
2.6.3 Estudo arquitetônico	17
2.6.4 Simulação computacional	17
2.6.5 Análise de resultados	17
2.6.6 Conclusão	17
3 CONCEITOS E DEFINIÇÕES	18
3.1 ILUMINÂNCIA	18
3.2 LUMINÂNCIA	18
3.3 FATOR DE LUZ DIURNA	19
3.4 DISPONIBILIDADE DE LUZ NATURAL	19
3.5 REFLEXÃO E REFLETÂNCIA	20
3.6 ABSORÇÃO E ABSORTÂNCIA	21
3.7 TRANSMISSÃO E TRANSMITÂNCIA	21
3.8 REFRAÇÃO	21
3.9 CONTRASTE	22
3.10 OFUSCAMENTO	22
3.11 CAMPO DE TRABALHO	23
4 CONFORTO AMBIENTAL	24
4.1 CONFORTO LUMÍNICO	24
4.2 ILUMINAÇÃO NATURAL	26
4.2.1 Abóboda Celeste	26
4.2.2 Geometria Solar	28

4.3 SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO NATURAL	30
4.3.1 Janelas e aberturas	31
4.3.2 Prateleiras de luz	32
5 CASO ESTUDADO: INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA – UNIDADE FELIZ	33
5.1 DESCRIÇÃO DO PROJETO DA EDIFICAÇÃO	34
5.2 DESCRIÇÃO DA SALA EM ESTUDO	36
6 SIMULAÇÃO LUMÍNICA E MEDIÇÕES	39
6.1 MEDIÇÕES IN LOCO	39
6.1.1 Metodologia aplicada	39
6.1.2 Resultados obtidos	41
6.2 EMPREGO DO <i>SOFTWARE</i> DE ANÁLISE	47
6.2.1 Simulação do caso estudado	50
6.2.1.1 Modelagem	50
6.2.1.2 Resultados	53
6.2.1.3 Estudo da prateleira de luz	57
6.2.2 Índices físicos e considerações	59
6.2.2.1 Modelagem	59
6.2.2.2 Resultados	61
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	64
8 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	66
REFERÊNCIAS	67
ANEXO A	68
ANEXO B	70
ANEXO C	73
ANEXO D	79

1 INTRODUÇÃO

Com a crescente conscientização global, a respeito do meio ambiente, existe cada vez mais um interesse da sociedade em reduzir os impactos. Introduzida neste contexto, a construção civil, tem uma atuação de grande importância, tanto em sua produção, quanto em sua operação, na busca por uma integração da edificação com o ambiente. Devido a isso, nos últimos anos, tem renascido o interesse nas boas práticas de projetos de iluminação natural buscando uma melhor eficiência energética e ainda melhorando o conforto visual. Um ganho considerável para todas as partes envolvidas: construtores, proprietários e usuários.

Pensando nisto foi realizado na cidade de Feliz, em uma parceria de diversos municípios, empresas e universidades, o projeto e a execução da Unidade Feliz do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (Ifet), visando à máxima integração da escola com o ambiente a sua volta, como mencionado em matéria da revista Nova Escola (ANDRADE, 2009, p. 52):

Quem caminha pela Fundação de Educação Profissional do Vale do Rio Caí [antigo nome da instituição], em Feliz, a 80 quilômetros de Porto Alegre, logo vê que as instalações da escola não são nada comuns. Os corredores ficam ao redor do prédio, com luz e ventilação naturais, que chegam às classes através de grandes janelas. As paredes de arenito, granito e tijolo cerâmico dispensam revestimento e contribuem para o isolamento térmico. A água da chuva, coletada por calhas, segue para uma cisterna, onde é filtrada por areia e brita para abastecer as torneiras e irrigar as hortas.

Um dos fatores de maior importância dentro de uma instituição escolar é a iluminação do ambiente de estudo, que deve ser constante e proporcionar conforto visual aos usuários. A necessidade de uma iluminação de boa qualidade, unida ao fato de a escola funcionar em períodos diurnos, torna mais importante o aproveitamento da luz natural que possibilita uma contribuição significativa na redução do consumo de energia elétrica.

Com a utilização de ferramentas computacionais o projetista, pode prever de forma quantitativa e qualitativa as questões que cercam o conforto do usuário no ambiente projetado, podendo estender seu estudo ao adequamento térmico, acústico e lumínico. *Softwares* como o Ecotect, utilizado neste estudo, comportam análises precisas sobre estes três enfoques,

podendo ainda abranger a área de consumo de materiais e estudos ecológicos, além de ser uma ferramenta de fácil aprendizado e contar com tutoriais *on-line* completos que auxiliam o seu uso.

Ao desenvolver este trabalho buscou-se o embasamento teórico necessário para entender o problema que cerca a iluminação natural interna em edificações, estudando itens como geometria solar, índices físicos de materiais, questões a respeito do conforto lumínico, funcionamento do *software* utilizado e seu manuseio, normas técnicas e projetos de Normas.

Neste trabalho serão apresentados conceitos básicos para o entendimento do mesmo, abordando também questões como conforto lumínico e a utilização de luz natural para iluminação, descrevendo desde a geometria solar a sistemas arquitetônicos utilizados na escola que contribuem com o aproveitamento desta fonte de luz. Será apresentado também um estudo a respeito da Unidade Feliz do Ifet, descrevendo características conceituais de projeto, detalhes construtivos e materiais empregados em sua construção. Por fim são introduzidos e discutidos resultados obtidos para medições *in loco* e as simulações de modelos computacionais a que se direciona o trabalho, encerrando com considerações finais e sugestões para o desenvolvimento de futuros trabalhos.

2 MÉTODO DE PESQUISA

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa apresentada para este trabalho é: segundo estudo computacional, realizado com o *software* Ecotect, quais as condições de distribuição da iluminação natural na sala de aula da Unidade Feliz do Ifet?

2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

2.2.1 Objetivo principal

O objetivo principal deste trabalho é verificar as condições de distribuição de iluminação natural de uma sala de aula da Unidade Feliz do Ifet, mediante uso de um *software* para simulação lumínica.

2.2.2 Objetivos secundários

Como objetivos secundários se apresentam:

- a) descrição dos sistemas de iluminação natural adotados pelo projeto arquitetônico;
- b) descrição de resultados obtidos, para o projeto referido, mediante medições *in loco*;
- c) apresentação de resultados, obtidos por simulação computacional, da distribuição de iluminação natural dos sistemas de iluminação adotados pelo projeto arquitetônico

- c) estudo e apresentação de uma nova proposta para o caso estudado, através do uso do *software*.

2.3 PRESSUPOSTO

Como pressuposto para este estudo tem-se que para as simulações lumínicas realizadas pelo *software* Ecotect possuem baixa sensibilidade a variações dos valores dos índices físicos utilizados nos modelos, portanto são considerados como corretos, dentro de uma margem de variação, os valores adotados.

2.4 DELIMITAÇÕES

Este trabalho delimita-se ao estudo da distribuição lumínica de uma sala de aula da Unidade Feliz do Ifet, restringindo-se aos resultados obtidos por simulação em software, análise descritiva do projeto arquitetônico e medições *in loco* realizadas no dia 15 de outubro de 2009.

2.5 LIMITAÇÕES

Como limitações têm-se:

- a) simulações utilizando somente o *software* Ecotect;
- b) medições em campo realizadas em apenas uma sala de aula.

2.6 DELINEAMENTO

O trabalho se desenvolverá segundo as etapas demonstradas na figura 1, estando cada uma das etapas detalhadas a seguir.

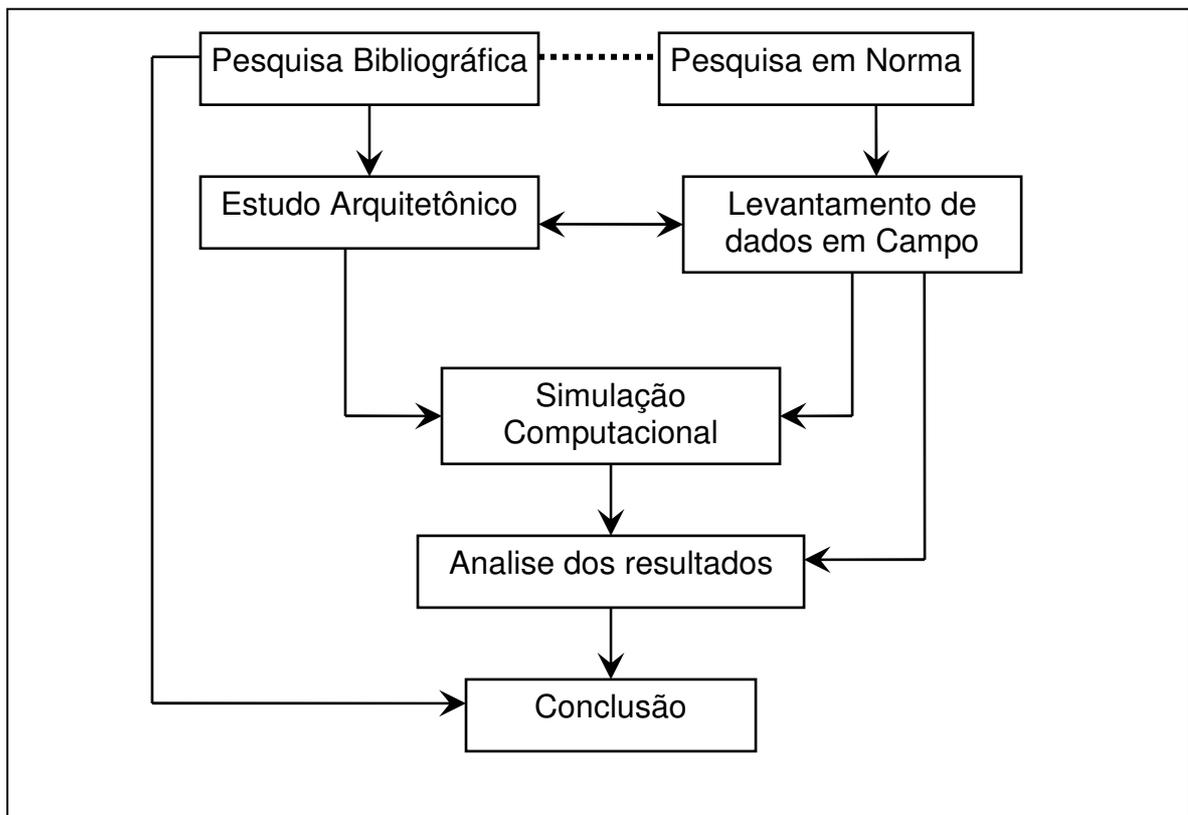


Figura 1: delineamento do trabalho

2.6.1 Pesquisa bibliográfica e pesquisa em Norma Técnica

Nesta primeira etapa busca-se o conhecimento teórico necessário para o desenvolvimento do trabalho. Assim como a pesquisa bibliográfica, a pesquisa em Normas Técnicas remete a aquisição de conhecimento teórico para o desenvolvimento do trabalho, definido padrões de medição (para o levantamento em campo) e características a serem alcançadas pela edificação, características estas que servirão de base para a análise de resultados.

2.6.2 Levantamento de dados em campo

Esta etapa é referente à aquisição técnica de dados. Foi realizada a medição *in loco* iluminância do caso estudado durante o dia 15 de outubro de 2009, além de mensurações das dimensões da sala de aula e dos elementos que a constituem.

2.6.3 Estudo arquitetônico

Foi desenvolvida uma análise criteriosa do caso em estudo, avaliando a arquitetura proposta e desenvolvida no local (mediante visita técnica e mensurações *in loco*). Este estudo serviu, principalmente, como fonte de dados para o desenvolvimento do modelo virtual utilizado no *software* Ecotect.

2.6.4 Simulação computacional

Com base nas informações adquiridas pelo estudo do projeto arquitetônico e nas dimensões levantadas em campo, foi desenvolvido um modelo computacional destinado as simulações lumínicas. Os resultados alcançados guiaram a concepção de uma nova proposta para o sistema de iluminação utilizado que também foi modelada e simulada em *software*.

2.6.5 Análise de resultados

Esta etapa tem como objetivo a avaliação dos resultados obtidos *in loco* através do cálculo do Fator de Luz Diurna (FLD) e a avaliação dos resultados adquiridos mediante a utilização do *software* Ecotect para o caso estudado (sala construída e sistemas de iluminação) e modelo proposto.

2.6.6 Conclusão

Nesta última etapa são feitas considerações a respeito dos resultados obtidos na análise de resultados de forma a responder a questão de pesquisa.

3 CONCEITOS E DEFINIÇÕES

Este capítulo apresenta alguns conceitos e definições que serão utilizados no decorrer do trabalho.

3.1 ILUMINÂNCIA

A Iluminância é definida em Norma como sendo o limite da razão entre o fluxo luminoso ($d\phi_v$, medido em lumens - lm) incidente sobre uma superfície cuja área (dA , em metros quadrados) tende a zero (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992, p. 1; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1991, p. 7) sua unidade é o lux ($lx = lm/m^2$). Uma das características mais importantes da iluminância é o fato de reduzir-se de forma proporcional com o quadrado da distância da fonte (trabalho não publicado)¹.

3.2 LUMINÂNCIA

O Projeto 02:135.02-004 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003d, p. 4) define luminância como “[...] uma parte da luz incidente sobre uma superfície é refletida, o olho humano perceberá a superfície como uma fonte de luz. O brilho observado é chamado de luminância, que depende da posição e da direção em que o usuário olha [...]”.

Sua unidade de medida é a candela por metro quadrado (cd/m^2), sendo a candela uma unidade de intensidade luminosa, por sua vez definida como a intensidade de um corpo negro com $1/60 \text{ cm}^2$ de área, quando aquecido à temperatura do ponto de fusão da platina (trabalho não publicado)².

¹ Material de apoio da disciplina Habitabilidade I do semestre de 2008/1 do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul ministrada pelo professor Miguel Aloysio Sattler. Autores: Prof. Miguel Aloysio Sattler e Giane Grigoletti.

² Notas de aula da disciplina Habitabilidade I do semestre de 2008/1 do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul ministrada pelo professor Miguel Aloysio Sattler.

3.3 FATOR DE LUZ DIURNA

Segundo a definição contida no Projeto de Norma 02:135.02-003 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003c, p. 2):

[...] o "Daylight Factor - DF" [fator de luz diurna], recomendado pela CIE – Commission Internationale de l'Eclairage, definido como a razão entre a iluminância E_p num ponto - localizado num plano horizontal interno, devido à luz recebida direta ou indiretamente da abóbada celeste, com uma distribuição de luminâncias assumida ou conhecida - e a iluminância simultânea E_E num plano externo horizontal devida à uma abóbada celeste desobstruída [...]

O Fator de Luz Diurna (FLD) é assumido como constante para cada um dos pontos do ambiente, sendo considerado um céu com distribuições de luminâncias constantes e uniformes em relação ao azimute (céu encoberto) (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003c, p. 2). Ou seja, o DF não depende da orientação, da hora do dia ou do dia do ano, dependendo apenas da localização (latitude e longitude) do ambiente ao qual pertence (TAVARES, 2007, p. 23).

3.4 DISPONIBILIDADE DE LUZ NATURAL

A Disponibilidade de Luz Natural (DLN) é definida pelo projeto de Norma 02:135.02-002 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003b, p. 1-2) como “[...] a quantidade de luz em um determinado local, em função de suas características geográficas e climáticas, que se pode dispor por um certo período de tempo.”

Ainda segundo o projeto de Norma citado acima as condições de DLN são importantes para a avaliação do desempenho final de um projeto em termos de conforto visual e consumo de energia. Para o cálculo da DLN é necessário que certos parâmetros estejam disponíveis, tais como:

- a) os dados relativos à posição do sol;
- b) as épocas da determinação, como o dia e o mês do ano;
- c) latitude e longitude geográficas;
- d) tipo do céu.

3.5 REFLEXÃO E REFLETÂNCIA

A reflexão é definida pela TB-23 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1991, p. 21) como sendo o retorno de uma radiação incidente sobre uma superfície sem a modificação de sua frequência monocromática. A refletância por sua vez é a medida da fração retornada do fluxo luminoso ou radiante incidente sobre a superfície em determinada condição (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1991, p. 22).

A norma TB-23 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1991, p. 22) define três formas de reflexão, apresentadas na figura 2 e definidas como sendo:

- a) reflexão especular – reflexão que obedece as leis da óptica geométrica
- b) reflexão difusa – reflexão na qual, em escala macroscópica, não há reflexão especular
- c) reflexão mista – reflexão parcialmente especular e parcialmente difusa

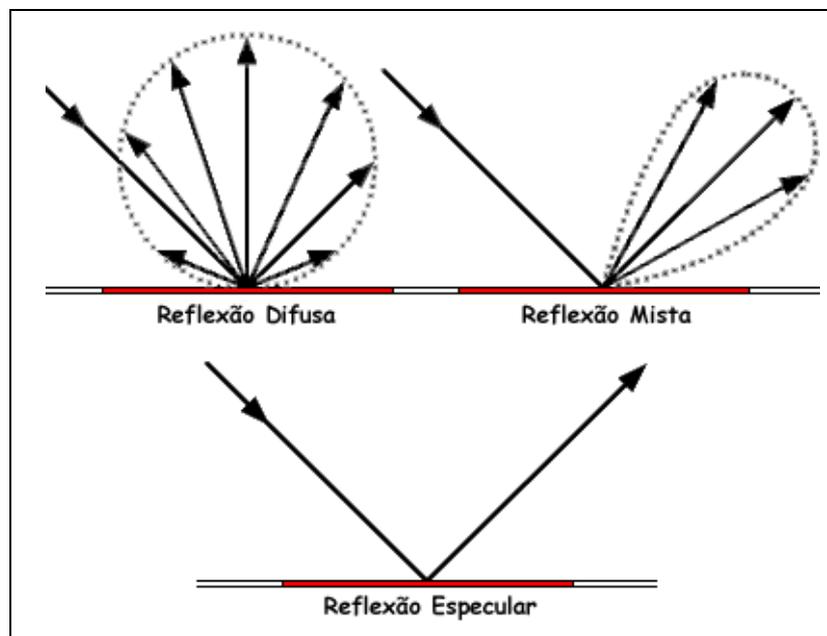


Figura 2: formas de reflexão

3.6 ABSORÇÃO E ABSORTÂNCIA

A absorção tem como característica a transformação da energia radiante, em outra forma de energia, quando incidente sobre um objeto devido a interação com a matéria que o compõe. Já a absortância é a razão do fluxo radiante ou luminoso absorvido em relação ao fluxo incidente (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1991, p. 23-24).

3.7 TRANSMISSÃO E TRANSMITÂNCIA

A definição de transmissão dada pela TB-23 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1991, p. 22) é a passagem de um meio sem a modificação da frequência de seus componentes monocromáticos. A transmissão pode ocorrer de três formas básicas:

- a) transmissão direta – transmissão que obedece as leis da óptica geométrica
- b) transmissão difusa – transmissão na qual, em escala macroscópica, não há transmissão regular
- c) transmissão mista – transmissão parcialmente regular e parcialmente difusa

A transmitância é a medida da fração do fluxo luminoso ou radiante incidente sobre a superfície que é transmitido através desta superfície (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1991, p. 22).

3.8 REFRAÇÃO

Mudança na direção de propagação de uma radiação, ocasionada pela variação de sua velocidade de propagação. Pode ocorrer quando a radiação passa através de um meio opticamente heterogêneo ou através de uma superfície que separa dois meios distintos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1991, p. 26).

3.9 CONTRASTE

No sentido perceptivo, o contraste é a diferença de aspecto de duas ou mais partes quando avaliadas pelo observador. Já no sentido psicofísico é associado à diferença de luminosidade percebida, normalmente definida por uma fórmula que leva em consideração as luminâncias dos estímulos visuais (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1991, p. 13).

3.10 OFUSCAMENTO

O ofuscamento é definido pela TB-23 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1991, p. 13) como a perda ou redução da capacidade de distinguir objetos ou detalhes, e pode ser causado por contraste excessivo ou distribuição desfavorável das iluminâncias.

Também pode ser definido como (trabalho não publicado)³:

Ofuscamento é um fenômeno subjetivo. Pode ser considerado como uma resposta (R), onde o estímulo (S) é a razão de luminância $L1 / L2$. O olho se ajusta à luminância média do campo de visão. Com grandes contrastes isto pode levar a áreas menos luminosas não sendo visíveis (exposição insuficiente), e a áreas excessivamente brilhantes, causando desconforto (exposição excessiva).

Os efeitos de saturação são causados quando a luminância média do campo de visão é superior a aproximadamente 25.000 cd/m²[...]. Neste caso, mesmo sem contrastes o ofuscamento acontecerá.

O ofuscamento pode ainda ser causado de forma direta ou refletida. O ofuscamento direto é causado quando uma fonte de luz de grande luminosidade é introduzida no campo visual do observador – em particular se próximo do eixo de visão – (figura 3a) já o ofuscamento refletido ocorre quando o observador vê a fonte luz por meio de reflexão em um objeto de alta refletância (figura 3b) (MASCARÓ; MASCARÓ, 1991, p. 6).

³ Notas de aula da disciplina Habitabilidade I do semestre de 2008/1 do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul ministrada pelo professor Miguel Aloysio Sattler.

Além do ofuscamento existem outros fatores que podem afetar a eficiência visual, por exemplo o cansaço ocular, influenciando os requerimentos de iluminação, dentro deste contexto (trabalho não publicado)⁴:

O modelo matemático de Graham introduziu o elemento tempo, ou seja, a duração do estímulo, o qual tem um efeito na resposta. O olho é mais confortável quando casualmente avista uma cena distante à luz do dia, não tão forte. Qualquer desvio disto, especialmente olhando pequenos objetos à curta distância, requer concentração e isto significa trabalho para o olho. Isto pode causar cansaço nos olhos em períodos mais longos. Quanto mais pobre a iluminação, maior será o esforço e o cansaço. A longa duração de exigência dos olhos reduz a eficiência visual e pode causar fadiga.



Figura 3: tipos de ofuscamento (MASCARÓ; MASCARÓ, 1991)

3.11 CAMPO DE TRABALHO

O campo de trabalho é a região de uma superfície a qual se exige certas condições de iluminância a fim de possibilitar e adequar a mesma para o trabalho visual a ser realizado (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992, p. 1).

⁴ Notas de aula da disciplina Habitabilidade I do semestre de 2008/1 do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul ministrada pelo professor Miguel Aloysio Sattler.

4 CONFORTO AMBIENTAL

Os padrões de conforto ambiental têm como objetivo adequar o ambiente a sua utilização, sejam estes internos ou externos, destinado a uma operação complexa ou simples descanso, promovendo uma melhor qualidade de vida e satisfação ao usuário. Para tal deve-se suprir as necessidades visuais, acústicas, qualidade do ar e higrotérmicas (LAMBERTS et al., 2004, p. 44). Um dos fatores que influenciam a adequação das necessidades visuais do usuário é a iluminação, a este fator é dado o nome de **conforto lumínico**.

4.1 CONFORTO LUMÍNICO

O conforto lumínico é um dos aspectos que forma o conforto visual de um ambiente. O conforto visual depende basicamente da quantidade e qualidade de iluminação que por sua vez deve atender a certos requisitos de forma a capacitar o ambiente a determinada tarefa, satisfazer o usuário e lhe proporcionar conforto. Segundo Lamberts et al. (2004, p. 44):

O conforto visual é entendido como a existência de um conjunto de condições, num determinado ambiente, no qual o ser humano pode desenvolver tarefas com o máximo de acuidade e precisão visual, com o menor esforço, com menor risco de prejuízos à vista e com reduzidos riscos de acidentes.

Ainda segundo os mesmos autores, como condições relacionadas a estes requisitos tem-se: iluminância suficiente, boa distribuição de iluminâncias, ausência de ofuscamento, contrastes adequados (proporção de iluminâncias) e bom padrão e direção de sombras.

Além de considerações pertinentes à tarefa a ser executada (como complexidade e importância) existe um fator subjetivo que é a preferência humana à iluminação. Este fator varia fundamentalmente com a idade e sexo da pessoa, bem como o horário do dia e as relações com o local. A preferência humana é fundamental no momento de escolha do tipo de fonte de luz a ser utilizada, se natural ou artificial (podendo ainda ser feita uma composição dos dois tipos). Deve-se dar preferência a escolha de iluminação natural, pois esta possibilita

às pessoas uma maior tolerância à variação do nível de iluminação (LAMBERTS et al., 2004, p. 45).

A norma NBR 5413 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992) especifica valores mínimos, médios e máximos de iluminância para diversos ambientes e edificações (classificadas por seu uso). O quadro 1, adaptado da referida Norma, apresenta os valores de iluminância sugeridos para uma edificação escolar.

AMBIENTES DE EDIFICAÇÕES ESCOLARES	VALORES DE ILUMINÂNCIA		
	Mínimo	Médio	Máximo
Salas de aulas	200	300	500
Quadros negros	300	500	750
Salas de trabalhos manuais	200	300	500
Laboratórios	150	350	750
Anfiteatros e Auditórios	150	350	750
Sala de desenho	150	200	300
Sala de reuniões	150	200	300
Salas de educação física	100	150	200
Costuras e atividades semelhantes	300	500	750

Quadro 1: valores sugeridos de iluminância para uma edificação escolar (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992, p. 4)

No entanto, de acordo com Tavares (2007, p. 18) estes valores não se referem ao conforto do usuário ou ao consumo de energia dos sistemas de iluminação sendo apenas exigências para que as atividades a que se destina o ambiente possam ser desenvolvidas. Muitos dos ambientes necessitam de uma iluminação artificial por apresentarem a necessidade de valores elevados de iluminância, incapazes de serem proporcionados pela luz natural.

De forma a alcançar o conforto lumínico, o planejamento da iluminação de um ambiente pode ser dividido em três fases principais de desenvolvimento do projeto, cada uma com objetivos distintos. As definições tem início da escolha do local a ser inserido, continuando até a ocupação do edifício. Uma descrição das fases podem ser vistas a seguir:

- a) fase conceitual: a luz natural influencia, ou é influenciada, pelas decisões básicas sobre forma, proporções e aberturas do edifício;
- b) fase de projeto: as estratégias devem ser desenvolvidas para todas as partes do edifício: fachadas, cobertura, materiais, bem como a integração dos sistemas de iluminação natural e artificial;
- c) pós-ocupação: quando construído, o edifício deve receber ajustes e calibrações dos sistemas.

4.2 ILUMINAÇÃO NATURAL

A iluminação natural tem com fonte luminosa principal o sol, porém ao projetar-se um sistema de iluminação deve-se considerar fundamentalmente a iluminação fornecida pela abóboda celeste (uma fonte secundária de luz por apenas refletir a luz solar) evitando a incidência direta da luz solar sobre o plano de trabalho (MASCARÓ; MASCARÓ, 1991, p. 15), pois sendo esta excessiva poderá causar desconforto e até mesmo ofuscamento ao usuário.

Portanto, sendo a luz solar direta desaconselhável para a iluminação natural, é desejável aproveitar ao máximo a luz solar de forma refletida. Tavares (2007, p.17) sugere que o céu e as obstruções naturais e artificiais atuem sobre a luz natural fornecida pelo sol de forma similar à de uma luminária, atua sobre a luz fornecida por sua lâmpada, filtrando e distribuindo a luz, contribuindo assim para que exista variação no grau de iluminamento dos ambientes internos.

Para isso faz-se uso de sistemas arquitetônicos voltados para impedir a ação direta do sol ou redirecioná-la de forma refletida para o ambiente, bem como a escolha correta dos equipamentos no entorno – principalmente no que diz respeito a cores e materiais –.

4.2.1 Abóboda Celeste

Como comentado anteriormente, para fins de projeto de iluminação, a abóboda celeste é considerada como uma fonte iluminação principal. Diferente do sol, uma fonte pontual de luz,

a abóboda celeste nos fornece uma área amplamente superior, porém de iluminância inferior. Segundo Mascaró e Mascaró (1991, p. 15) existem três tipos de céu padronizados pela CIE⁵:

- a) céu claro – com não mais de 30% da abóboda celeste coberta por nuvens. Tende a ser mais brilhante no horizonte do que no zênite sendo a radiação direta preponderante e a radiação difusa mais intensa ao redor do sol e perto do horizonte. A iluminância do céu depende da posição do sol no momento (TAVARES, 2007, p. 21);
- b) céu parcialmente encoberto – tem entre 30% e 80% da abóboda celeste coberta por nuvens. Existe grande variação de iluminâncias de uma área para a outra (TAVARES, 2007, p. 21);
- c) céu encoberto – tem pelo menos 80% da abóboda celeste coberta por nuvens. Possui uma distribuição uniforme da radiação. A iluminância do céu independe da orientação (TAVARES, 2007, p. 21).

A Figura 4 mostra um gráfico com os valores de iluminância provenientes do sol e da abóboda celeste para os três tipos de céu padronizados enquanto a figura 4 apresenta uma representação esquemática dos três tipos de céu.

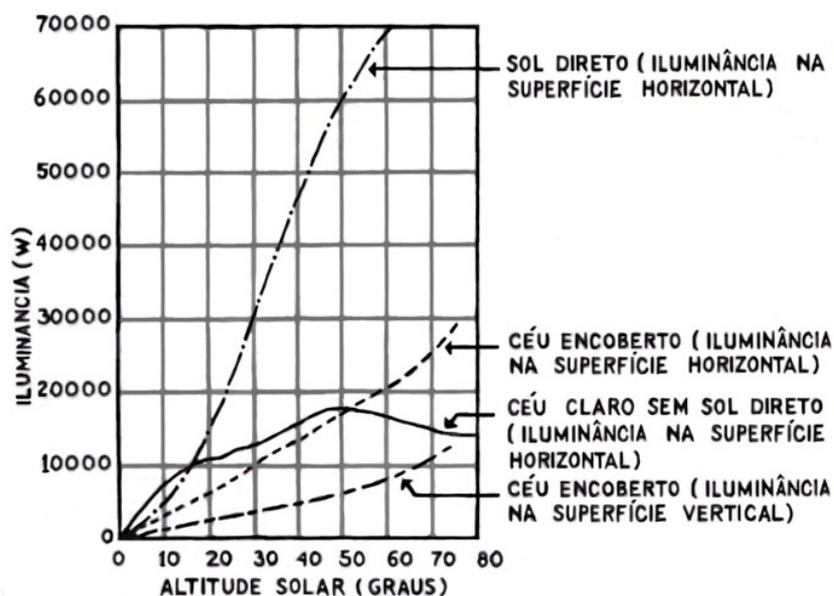


Figura 4: iluminância da luz do dia direta do sol e em diferentes condições de céu (MASCARÓ; MASCARÓ, 1991)

⁵ Commission Internationale d'Eclairage

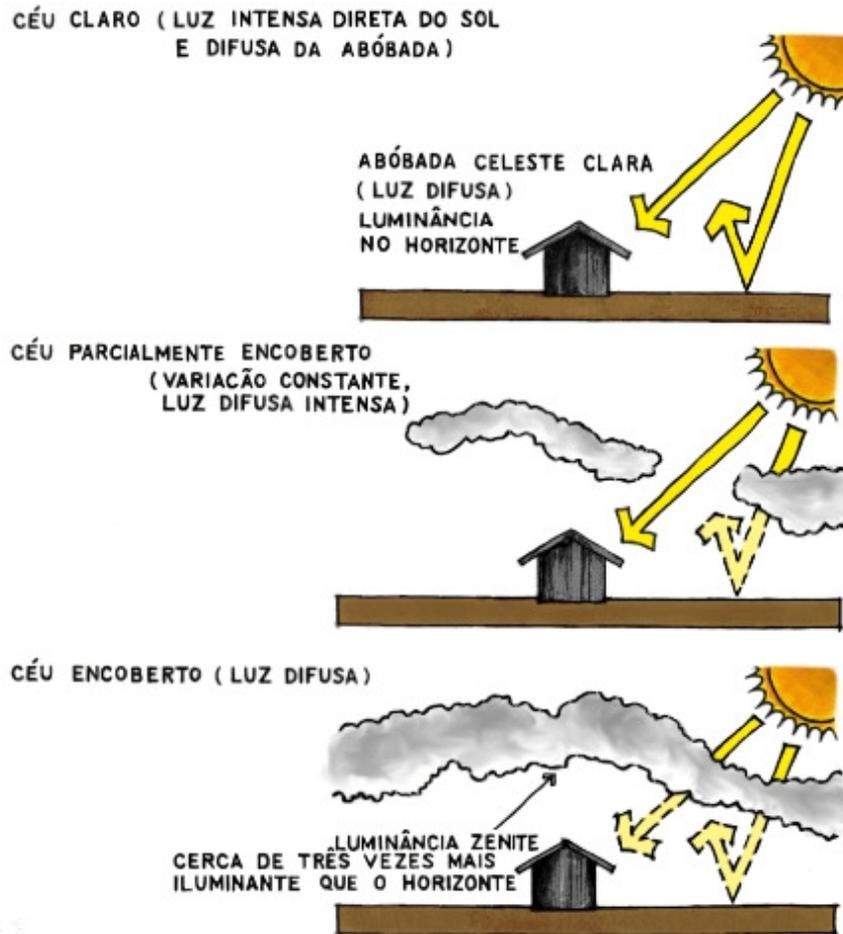


Figura 5: tipos de céu (MASCARÓ; MASCARÓ, 1991)

4.2.2 Geometria Solar

A inclinação existente no eixo da Terra em relação ao plano do equador, juntamente com o movimento de translação, faz com que os hemisférios terrestres recebam quantidades distintas de radiação solar no decorrer dos anos, isto ocasiona as diferentes estações do ano, estações estas caracterizadas pelos solstícios de verão e de inverno e pelos equinócios de primavera e de outono (LAMBERTS et al., 2004, p. 29).

Durante equinócios de primavera e outono, o planeta Terra como um todo experimenta durações do dia aproximadamente igual a da noite. Suas datas, no hemisfério sul, sendo, respectivamente, 22-23 de setembro e 20-21 de março. Já os solstícios de verão e de inverno são marcados, pelos extremos dentro da duração de um dia, sendo o solstício de verão o dia mais longo do ano e o solstício de inverno a noite mais duradoura. Suas datas aproximadas,

no hemisfério sul, são, respectivamente, 20-21 de junho e 21-22 de dezembro. A figura 6 demonstra os diferentes equinócios e solstícios para o hemisfério sul, juntamente com a inclinação da terra e sua translação.

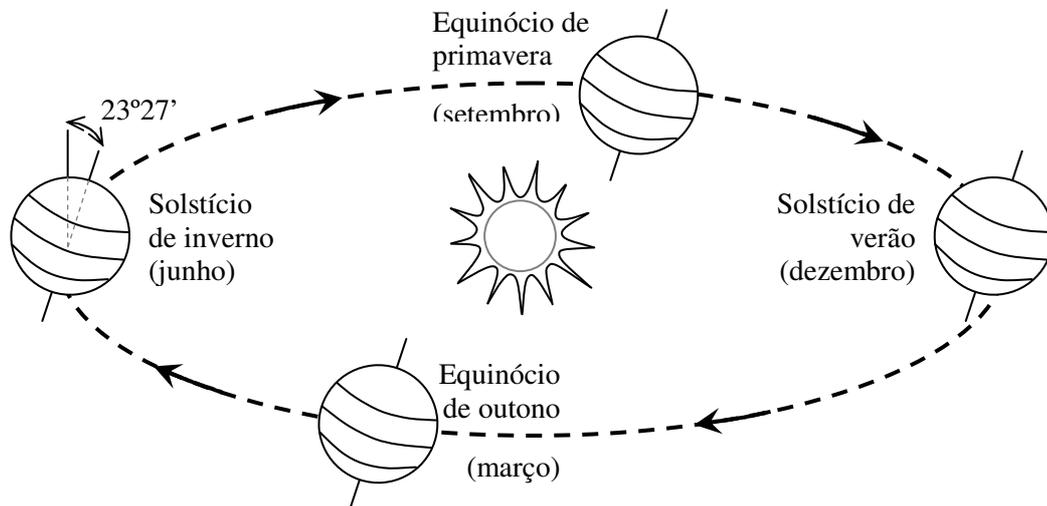


Figura 6: equinócios e solstícios

Para definir o posicionamento solar na abóboda celeste são utilizados os ângulos de altitude solar e o de azimute solar, ambos os ângulos variam com a hora do dia e período do ano. As definições dos ângulos citados são (trabalho não publicado)⁶:

- a) altitude solar: é o ângulo vertical formado entre o raio solar e um plano tangente à superfície terrestre no local em questão;
- b) azimute solar. é o ângulo medido no sentido horário entre a direção norte e a projeção do raio solar sobre o plano anteriormente mencionado.

A radiação solar é um dos elementos climáticos mais conhecidos, bastando o uso de uma carta solar e os ângulos acima referidos para identificar onde o sol se encontra em determinada data do ano (LAMBERTS et al., 2004, p. 30). Um exemplo de carta solar estereográfica é apresentado no anexo A.

A radiação solar pode ser de dois tipos: direta ou difusa. Isso ocorre devido a interferências sofridas pela radiação já dentro das camadas atmosféricas. Esta interferência, que gera a parcela difusa da radiação solar é tanto maior quanto mais nublado for o céu (LAMBERTS et

⁶ Notas de aula da disciplina Habitabilidade I do semestre de 2008/1 do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul ministrada pelo professor Miguel Aloysio Sattler.

al., 2004, p. 30, 31). Equivale dizer que em um céu claro a parcela difusa será menor do que quando o céu estiver parcialmente encoberto ou encoberto (neste último caso a parcela difusa compõe quase que a totalidade da radiação solar).

Segundo Lamberts et al. (2004, p. 30-31):

A quantidade de radiação solar que chega a superfície terrestre depende basicamente de três fatores: a lei do cosseno, a dissipação atmosférica e a duração da luz do dia. A lei do cosseno estabelece que a intensidade de radiação incidente em uma superfície inclinada é igual a razão entre a intensidade normal e o cosseno do ângulo de incidência.

Quanto menor a altitude solar, mais longo é o trajeto da radiação através da atmosfera e, em consequência, chega menos radiação à superfície terrestre. Esse fenômeno é conhecido como dissipação atmosférica, ou seja, a absorção da radiação solar pelo ozônio, vapores e partículas contidas na atmosfera.

4.3 SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO NATURAL

Segundo Amorim (2002b, p. 2) “Os sistemas para a luz natural utilizam a luz do zênite e do céu de maneira eficiente, guiando-a com mais profundidade e uniformidade para o interior dos ambientes.”, podendo ser utilizada em edificações diversas, quer a nível industrial, comercial ou residencial, possibilitando uma redução significativa no consumo de energia elétrica em ambientes normalmente dependentes de iluminação artificial, não só por ser a fonte natural de luz, mas também por ser mais eficiente.

Ainda segundo Amorim (2002b, p. 2):

[sistemas de iluminação natural] Podem ter o mesmo efeito de proteção solar que normalmente se consegue com os dispositivos de sombreamento externo, reduzindo as temperaturas internas e/ou os custos de ar condicionado, devido à diminuição da carga térmica. Além disso, estes sistemas podem reduzir a ocorrência de ofuscamento causado pelo sol ou pela luz difusa, os custos de energia para a luz artificial e possibilitam maior liberdade de disposição de locais de trabalho (mobiliário).

É necessário, porém, que a utilização destes sistemas seja planejada juntamente com o sistema de iluminação artificial, para que efetivamente resultem em economia energética.

Os elementos de iluminação natural são constituídos por: janelas, beirais, prateleiras de luz, domos, entre outros, podendo ainda ser caracterizados dentro de sua funcionalidade como

fixos, móveis, automáticos ou manuais (AMORIM, 2002b, p. 2). No anexo B pode ser encontrada uma classificação dos sistemas iluminação natural.

4.3.1 Janelas e aberturas

As janelas são os sistemas de iluminação natural mais comumente utilizados, sendo definidos como: “Abertura num fechamento vertical cujo limite inferior está acima do nível do piso, permitindo a penetração lateral da luz e/ou radiação solar, visão ao exterior e ventilação natural.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003a, p. 3). Sua eficiência, no entanto, depende da escolha das dimensões da abertura e do elemento de vedação (normalmente composto por vidro), tendo ainda um decaimento gradativo da iluminância à medida que aumenta a distância da mesma (MASCARÓ; MASCARÓ, 1991, p. 9). A figura 7 apresenta o decaimento da iluminância, em relação ao aumento da distância da janela, apresentando, também, as curvas Isolux (curvas de igual iluminância).

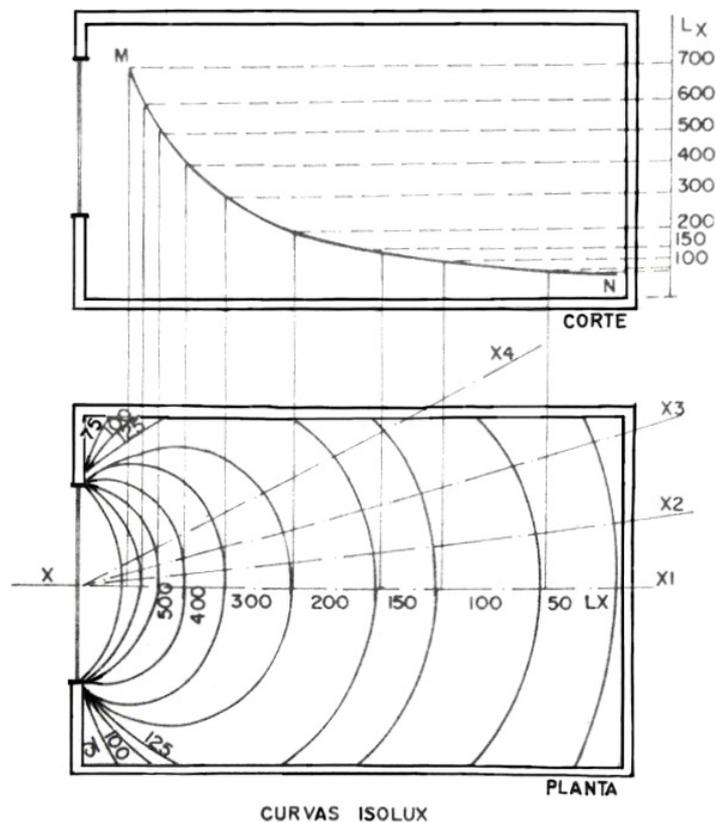


Figura 7: decaimento luminoso em janelas e curvas isolux (MASCARÓ; MASCARÓ, 1991)

4.3.2 Prateleiras de luz

As prateleiras de luz são elementos horizontais de controle de luminosidade usados, normalmente, em sistemas de iluminação verticais, como janelas. São posicionados acima do nível de visão dos usuários, desta forma elas protegem o ambiente de incidência direta de luz solar ao mesmo tempo em que a redireciona para o teto por reflexão melhorando a distribuição de luz interna (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003a, p. 4; AMORIM, 2002a, p. [5]). Segundo Amorim (2002a, p. [5]) “As dimensões dependem dos ângulos solares da região. As prateleiras de luz podem ser internas, externas ou mistas, retas ou curvas. Podem ser usadas também debaixo de elementos zenitais, melhorando a distribuição de luz e/ou protegendo da radiação direta.”.

A figura 8 ilustra uma prateleira de luz posicionada em uma janela enquanto a figura 9 exemplifica a utilização de prateleiras de luz em um sistema de iluminação zenital.

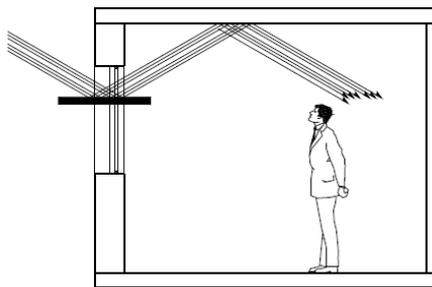


Figura 8: prateleira de luz utilizada em uma abertura lateral

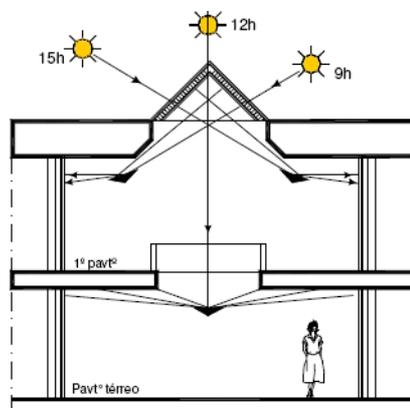


Figura 9: prateleira de luz utilizada em uma abertura zenital

5 CASO ESTUDADO: INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA – UNIDADE FELIZ

O projeto da Unidade Feliz do Ifet-RS surgiu para atender, principalmente, às demandas de mão de obra melhor qualificada da região, que abrange vinte municípios no interior do Rio Grande do Sul. Os setores oleiro-cerâmico e hortifrutigranjeiro, floricultura e agricultura familiar são abrangidos por esta escola técnica de formação profissional.

O projeto original do complexo escolar a ser implantado sofreu severas modificações, de forma a melhor integrar as edificações com o meio ambiente, propiciando uma melhor utilização dos recursos naturais, mantendo as áreas de vegetação nativa originais ao terreno e criando áreas de vivência e trilhas ecológicas, que fornecem ao usuário a possibilidade de um maior contato com a natureza. A busca de uma arquitetura sustentável levou em consideração as dimensões econômicas, ecológicas, sociais e culturais de sustentabilidade.

Algumas das técnicas e opções adotadas visando estas dimensões de sustentabilidade foram:

- a) emprego de materiais e tecnologias da região, dando preferência aos materiais que causem pouco impacto ambiental em sua produção e utilização. A questão de manutenção a médio e longo prazo também foi contemplada dando-se preferência àquelas que necessitem de um baixo custo nestes quesitos;
- b) respeito integral a vegetação de porte existente durante a implantação;
- c) busca por uma melhor orientação solar das edificações, buscando um melhor aproveitamento térmico e lumínico, o que nos leva a uma diminuição (ou mesmo eliminação) do uso de aparelhos de ar condicionado e iluminação artificial;
- d) sistema de coleta de água da chuva e utilização de cisternas, para o condicionamento desta água destinada ao uso da escola;
- e) retorno de resíduos gerados pela escola, após prévio tratamento dos mesmos, minimizando ou eliminando o impacto causado;

A concepção deste novo projeto teve início a partir da criação de um grupo multidisciplinar de alunos da disciplina de pós-graduação de Projetos Regenerativos, do ano de 2003, a convite do professor Miguel Aloysio Sattler (NORIE/PPGEC) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e autoria conjunta dos arquitetos da empresa Krebs Arquitetos Associados: Lisandra Fachinello Krebs, Haiderose Gauer, Daniela Payeras e Carlos Krebs.

5.1 DESCRIÇÃO DO PROJETO DA EDIFICAÇÃO

Localizado no limite sul da malha urbana da cidade de Feliz-RS o terreno de aproximadamente 2150 m², de característica longilínea, possui vegetação nativa característica e uma de suas faces menores costeada pelo Rio Caí. As edificações propostas ficam contidas no interior do terreno, mantendo assim uma linha de vegetação arbórea circundando todo o complexo (figura 10).



Figura 10: vista aérea dos blocos C, D e E da Unidade Feliz do Ifet

O projeto estipula a criação de cinco blocos, que abrigam laboratórios e salas de aula (blocos A, B, C, D e E) e um Núcleo Central que abrigará a Administração da Unidade Feliz, o Auditório, com capacidade para 195 pessoas, e a Biblioteca. A distribuição dos prédios se dá no sentido longitudinal do terreno, mantendo uma orientação de sua fachada principal com 18° de orientação com o norte (azimute). Tem duas asas, tendo como centro o Núcleo Central, tendo a oeste os blocos A e B e a leste os blocos C, D e E.

Esta distribuição dos blocos facilitou a criação de corredores abertos, protegidos da ação das chuvas, que possibilita ao usuário percorrer o caminho até sua sala de aula mantendo um contato maior com a natureza. Estes corredores seguem ao longo dos blocos segundo a orientação já mencionada interligando os blocos A, B, o Núcleo Central e os blocos C, D e E (percurso nomeado como **Caminho da Chuva**).

O projeto prevê ainda a criação de trilhas e áreas de convívio que cruzarão o terreno em sentido longitudinal (nomeado de **Caminho do Sol**). Serão vinte áreas de convívio cada qual representando um município mantenedor da Unidade Feliz. Estas áreas deverão receber totens informativos do município que representa.

Além desta descrição básica está previsto também:

- a) três pontos de acesso, sendo um Principal (Pórtico de Acesso junto ao Núcleo Central) e dois secundários (blocos A e B e blocos C, D e E). Cada ponto de acesso será munido de guaritas para controle.
- b) estacionamento com controle de ingresso e saída de veículos;
- c) construção de uma Praça Cívica junto ao Acesso Principal e o Núcleo Central;
- d) um anfiteatro ao ar livre com piso de tijolos cerâmicos junto a mata nativa (lado leste do terreno). É um espaço para a realização de aulas ao ar livre, convívio, apresentações artísticas para a comunidade e de outras atividades de integração
- e) Torre de Observação (mirante);
- f) Horta, Praça das Hortas, Espirais de Ervas e Temperos;
- g) emprego de Telhados-Vivos (Telhados Verdes) junto ao Núcleo Central;
- h) leito de escoamento das águas pluviais;
- i) aproveitamento das águas pluviais;
- j) estação de tratamento prévio de resíduos sólidos e depósito de materiais químicos e tratamento de resíduos líquidos.

A atual situação executiva do projeto tem como área edificada apenas os blocos C, D, E e seu respectivo acesso secundário. A área administrativa encontra-se alojada no bloco C, temporariamente. A figura 11 apresenta os blocos C, D e E em fase final de construção em maio de 2007.



Figura 11: vista da fachada sul dos blocos C,D e E em fase final de execução, maio de 2007 (trabalho não publicado)⁷

⁷ Apresentação em slides desenvolvido pela Krebs Arquitetura

5.2 DESCRIÇÃO DA SALA EM ESTUDO

A sala de aula destinada para o estudo está situada próximo ao centro do bloco D (bloco central da atual área construída), com área útil de aproximadamente 55 m², sendo a dimensão longitudinal ao bloco a de maior dimensão (9 m). A figura 12 mostra o posicionamento da sala no bloco D.



Figura 12: localização da sala estudada

As paredes constituintes são de alvenaria dupla (tipo Eckert) portante, de tijolos maciços, com dimensões 21x10x5 cm (comprimento x largura x altura). Suas faces externas são aparentes e recebem pintura com hidrofugante, enquanto as faces internas são revestidas com reboco e pintadas com tinta PVA. O pé direito da parede norte é de 4,5 m e o da parede sul de 2,5 m. O fechamento do telhado é feito por uma única água, de inclinação 18°, um segunda água de mesma inclinação (sentido contrário) e de altura rebaixada em relação a primeira faz o cobrimento do corredor externo à sala (pertencente ao Caminho da Chuva).

A sustentação principal da água sul do telhado foi executada em eucalipto (*Eucalyptus grandis*) tendo um total de 8m de comprimento, com seção dupla (7+7)x20 cm, dispostas a cada 310 cm. Como a madeira utilizada não alcança o comprimento necessário foram utilizadas peças de 4m de comprimento, unidas com conectores metálicos e reforçadas com sistema tensor. Os caibros e terças da água sul, assim como a viga de sustentação e caibros da água norte (corredor externo), foram executados com eucalipto de reflorestamento (*Eucalyptus saligna*). A cobertura de ambas as águas foi executada em Telhas Cerâmicas, tipo romana, cor crua, com proteção esmaltada (sem adição de chumbo ao esmalte).

Existe apenas uma porta de acesso à sala de aula, posicionada na parede norte. A porta caracteriza-se por ser uma porta semi-oca, de duas folhas, com dimensões 170x210 cm (largura x altura). A madeira utilizada foi o eucalipto de reflorestamento (*Eucalyptus saligna*).

A sala possui dois módulos com oito janelas basculantes, posicionadas na parede norte e na parede sul, ambas com altura de peitoril de 70 cm. A esquadria possui dimensões de 380x140 cm (largura x altura), em madeira de eucalipto de reflorestamento (*Eucalyptus saligna*). O conjunto existente na fachada norte, naturalmente exposta ao sol em nosso hemisfério, fica protegido de insolação direta pela água externa no corredor. A área de janela é de aproximadamente 3,3 m² por módulo. A figura 13 apresenta as janelas da fachada norte e sul.



Figura 13: fotos internas das janelas inferiores da fachada norte (esquerda) e fachada sul (direita)

A sala possui também um conjunto de seis janelas basculantes elevadas, na fachada norte. Estas janelas possuem dimensões de 130x75 cm (largura x altura), com altura de peitoril de 350 cm, compondo uma área de vidro de 3,2 m² no total, e esquadrias em madeira de eucalipto de reflorestamento (*Eucalyptus saligna*). Estas janelas elevadas encontram-se perfiladas na parede a uma altura acima da água de proteção do corredor, portanto recebendo insolação direta ao longo do ano. Para minimizar os efeitos de ofuscamento que poderiam ser causados no interior da sala por esta isolação direta e, ao mesmo tempo, reaproveitar a luminosidade de uma forma mais racional, fez-se uso de uma prateleira de luz. Esta prateleira de luz localiza-se na parede interna da sala de aula, a uma altura de topo de 330 cm e dimensões de 900x80 cm (comprimento x profundidade), portanto estendendo-se ao longo de toda a parede norte. A figura 14 mostra a prateleira de luz e as janelas basculantes superiores.



Figura 14: janelas superiores e prateleira de luz

Os pisos externos e internos receberam regularização de base em argamassa de cimento e areia e aditivo impermeabilizante de, pelo menos, 3 cm. O piso externo é de tijolos maciços dispostos em módulos com padrão “escama de peixe”, com borda externa de arremate em tijolos maciços, dispostos em cutelo. Já o piso interno recebeu revestimento de placas cerâmicas, nas dimensões de 40x40 cm.

Durante a visita técnica foi constatada a presença de escoras no interior de todas as salas de aula. Estas escoras estão apoiando a estrutura da sustentação principal do telhado da água sul, pois a estrutura citada executada em madeira de eucalipto (*Eucalyptus grandis*) apresentou ruptura das fibras.

6 SIMULAÇÃO LUMÍNICA E MEDIÇÕES

Neste capítulo será descrita a simulação do trabalho, descrevendo a metodologia e considerações utilizadas durante este processo. Como fonte de comparação do modelo virtual do caso estudado (sala de aula da escola), será apresentada, também, as medições realizadas *in loco* e seus resultados, assim como a forma de utilização das mesmas.

6.1 MEDIÇÕES *IN LOCO*

No dia 15 de outubro de 2009 foi feita uma visita técnica a Unidade Feliz do IFET-RS. Neste dia também foram executadas pela aluna de mestrado, arquiteta Christiane Cunha Krum, e um grupo de alunos, medições *in loco* de iluminância. Estas medições serão apresentadas a seguir e servirão como instrumento de comparação e avaliação preliminar para o modelo virtual desenvolvido no *software* Ecotect.

A metodologia seguida durante as medições *in loco* foi a sugerida pelo projeto de Norma 02:135.02-004 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003d), porém devido ao limitado número de medições – em comparação com os números propostos pelo projeto de Norma citado – não devem ser entendidos como valores absolutos e sim como uma tendência de funcionamento da iluminação natural do caso estudado.

6.1.1 Metodologia aplicada

O equipamento utilizado para as medições foi um luxímetro ISO-TECH ILM350, que nos fornece medidas de iluminância. O luxímetro funciona com um sensor fotométrico, ligado a um filtro de correção óptica, que transmite o sinal a um circuito, que faz a ampliação e linearização do mesmo, indicando os valores de iluminância (em lux) em um visor digital (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003d, p. 2).

O plano de trabalho considerado foi da altura das mesas da sala de aula, aproximadamente 70 cm de altura. Além da medição no campo de trabalho foram feitas medições no quadro (desprezadas neste estudo) e uma medição externa em frente à fachada norte com o cuidado

de minimizar a interferência de elementos de sombreamento (como árvores ou a própria edificação).

As medições em interiores devem ser realizadas sobre uma malha, subdividindo a área total do plano de trabalho em áreas menores de dimensões iguais ou próximas a de um quadrado, tomando-se os valores de iluminância de pontos centralizados em cada uma das áreas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003d, p. 7). Segundo a orientação do projeto de Norma 02:135.02-004 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003d, p. 6), que define a quantidades de pontos a serem medidos, seriam necessários, no mínimo, 25 pontos de medições. Optou-se, porém, por estender este valor para 35 pontos de medições, o que nos fornece uma melhor distribuição das áreas e refinamento na caracterização lumínica da sala de aula.

As medições foram realizadas em apenas 4 horários diferentes, de 2 em 2 horas. Para cada ciclo de medições foi realizada uma medição externa ao prédio, que deve ser afastada de qualquer objeto, para evitar interferência no valor medido. Após cada medição externa foram realizadas as medições internas da sala de aula, no plano de trabalho, seguindo o alinhamento das colunas (A, B, C, D e E), apresentadas na figura 15, partindo da parede próxima a porta em direção ao fundo da sala, e posterior medição dos pontos demarcados no quadro.

Abaixo estão apresentadas as características do processo de medição e os cuidados tomados:

- a) quatro medições realizadas durante o dia, nos seguintes horários: 9:15, 11:15, 13:15 e 15:15;
- b) as medições internas foram realizadas com todas as janelas e portas fechadas;
- c) as medições foram feitas pelo executante posicionando-se abaixo do plano de trabalho de forma a eliminar ou minimizar a contribuição (por reflexão ou sombra) de sua presença no local.

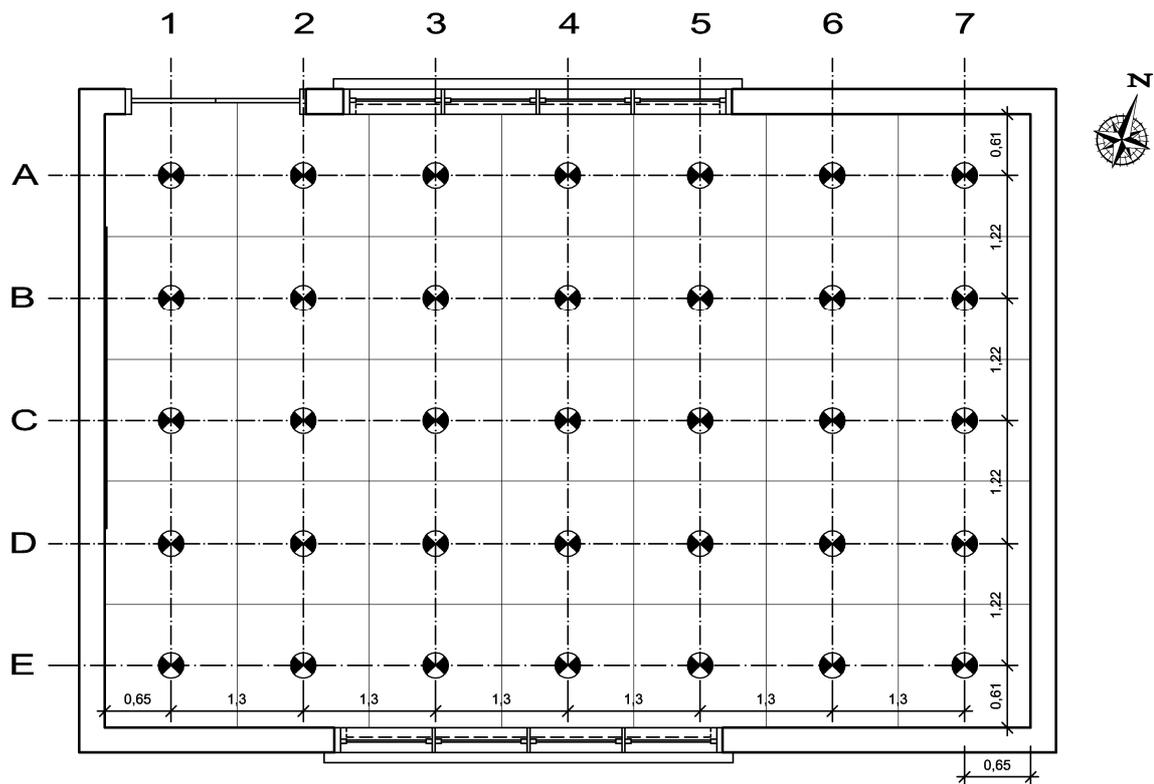


Figura 15: distribuição da malha no interior da sala de aula estudada

6.1.2 Resultados obtidos

Durante o dia de medição (15 de outubro de 2009) o céu manteve-se encoberto, segundo a classificação da CIE⁸, com presença de chuva fraca durante boa parte do dia. Esta condição de céu possibilita a utilização dos valores de iluminância medidos para aquisição do Fator de Luz Diurna (FLD) devido a ausência de luz direta do sol e distribuição uniforme da iluminância da abóboda celeste. A figura 16, abaixo, mostra as condições de céu durante o dia 15 de outubro de 2009.

⁸ Commission Internationale d'Eclairage



Figura 16: condições de céu sobre a Unidade Feliz do Ifet no dia 15 de out. de 2009

Os valores de iluminância mensurados *in loco* e FLD (calculados), para todas as medições realizadas são apresentados a seguir (quadro 2, quadro 3, quadro 4 e quadro 5).

MEDIÇÕES REALIZADAS AS 9:15h											
VALORES DE ILUMINÂNCIA MEDIDOS <i>IN LOCO</i> (LUX)						VALORES DE FLD CALCULADOS (%)					
	E	D	C	B	A		E	D	C	B	A
1	53	35	32	29	22	1	0,65	0,43	0,39	0,35	0,27
2	98	42	34	36	30	2	1,20	0,51	0,41	0,44	0,37
3	277	47	37	38	69	3	3,38	0,57	0,45	0,46	0,84
4	361	54	37	35	63	4	4,40	0,66	0,45	0,43	0,77
5	263	47	38	29	46	5	3,21	0,57	0,46	0,35	0,56
6	57	42	35	28	25	6	0,70	0,51	0,43	0,34	0,30
7	37	35	31	26	21	7	0,45	0,43	0,38	0,32	0,26
ILUMINÂNCIA EXTERNA: 8.200 lux											

Quadro 2: medições realizadas as 9:15h e valores de FLD calculados

Como pode ser observado pelos valores obtidos *in loco*, houve uma concentração de picos de iluminâncias nos pontos próximos ao conjunto de janelas da fachada sul (pontos E3, E4 e E5).

Os valores próximos ao conjunto de janelas da fachada norte (pontos A3, A4 e A5) também apresentam valores um pouco maiores que os de seu entorno. Pode ser observado, também, a despeito dos valores mais elevados próximos as janelas, um aumento gradual no sentido norte sul (da coluna E em direção a coluna A). Os valores encontrados de FLD estão, em aproximadamente 89% dos pontos medidos, abaixo de 1,00%, o que demonstra valores possivelmente baixos para a região em que se encontra a escola.

MEDIÇÕES REALIZADAS AS 11:15h											
VALORES DE ILUMINÂNCIA MEDIDOS <i>IN LOCO</i> (LUX)						VALORES DE FLD CALCULADOS (%)					
	E	D	C	B	A		E	D	C	B	A
1	176	116	122	121	76	1	0,59	0,39	0,41	0,41	0,26
2	404	134	138	158	122	2	1,36	0,45	0,46	0,53	0,41
3	810	152	145	174	185	3	2,72	0,51	0,49	0,58	0,62
4	750	161	140	167	194	4	2,52	0,54	0,47	0,56	0,65
5	852	155	136	137	181	5	2,86	0,52	0,46	0,46	0,61
6	165	141	127	127	90	6	0,55	0,47	0,43	0,43	0,30
7	113	123	114	113	84	7	0,38	0,41	0,38	0,38	0,28
ILUMINÂNCIA EXTERNA: 29.800 lux											

Quadro 3: medições realizadas as 11:15h e valores de FLD calculados

A medição das 11:15h, apresentada no quadro 3 acima, foi a que apresentou maior valor de iluminação externa (29.800 lux), o que trouxe, conseqüentemente, resultados um pouco mais satisfatórios no ponto de vista da iluminação ambiente. A grande maioria dos pontos medidos forneceu iluminâncias próximas do valor mínimo de 200 lux, indicado para salas de aula pela NBR 5413/1992 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992).

Novamente foram constatados picos de iluminação nos pontos adjacentes a janela da fachada sul (pontos E3, E4 e E5), com valores variando entre 750 e 850 lux. Verificou-se excesso de iluminação, de acordo com NBR 5413/1992 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992), que indica, como máximo para ambientes de sala de aula, o valor de 500

lux. Entretanto, não foi encontrado ponto de ofuscamento, isso se deve não somente ao tipo de céu presente no dia da medição (céu encoberto), que não possui componente de iluminação direta do sol, mas, também, por se tratar de uma fachada sul, onde sua iluminação provém das componentes difusas da abóboda celeste, com exceção do período do ano próximo ao solstício de verão, quando ocorrerá incidência de luz direta do sol na fachada sul no início da manhã e fim de tarde.

Os pontos próximos a janela da fachada norte (pontos A3, A4 e A5) também apresentam valores acima dos encontrados em seu entorno, como ocorrido nas medições realizadas anteriormente. Manteve-se, também, o aumento gradual de iluminâncias no sentido norte-sul (da coluna A em direção a coluna E).

O FLD encontrado nestas medições é muito próximo do valor encontrado anteriormente para cada um dos pontos. Mesmo apresentando um valor elevado de iluminância externa, os valores internos, em aproximadamente 89% dos pontos, estão abaixo do valor médio estipulado pela NBR 5413/1992 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992) de 300 lux.

MEDIÇÕES REALIZADAS AS 13:15h											
VALORES DE ILUMINÂNCIA MEDIDOS <i>IN LOCO</i> (LUX)						VALORES DE FLD CALCULADOS (%)					
	E	D	C	B	A		E	D	C	B	A
1	77	50	54	52	31	1	0,60	0,39	0,42	0,40	0,24
2	174	54	57	68	68	2	1,35	0,42	0,44	0,53	0,53
3	497	62	58	77	105	3	3,86	0,48	0,45	0,60	0,81
4	491	65	52	69	93	4	3,81	0,50	0,40	0,54	0,72
5	409	62	55	60	79	5	3,17	0,48	0,43	0,47	0,61
6	42	57	51	55	83	6	0,33	0,44	0,40	0,43	0,64
7	38	51	46	48	47	7	0,29	0,40	0,36	0,37	0,36
ILUMINÂNCIA EXTERNA: 12.890 lux											

Quadro 4: medições realizadas as 13:15h e valores de FLD calculados

A medição das 13:15h apresentou, novamente, picos junto à janela da fachada sul e valores mais elevados próximo à janela da fachada norte. A orientação crescente de iluminação é a mesma visualizada nos horários anteriores, aumentando em direção à fachada sul.

O quadro 5, abaixo, apresenta a última medição realizada in loco, no dia 15 de outubro de 2009. Os resultados apresentados condizem com os anteriores, seguindo a tendência de picos de iluminância próximos às janelas inferiores e um acréscimo de iluminação no sentido norte-sul. Os valores calculados de FLD apresentam, também, as mesmas características tendo aproximadamente 89% dos pontos com valores abaixo de 1,00% para FLD.

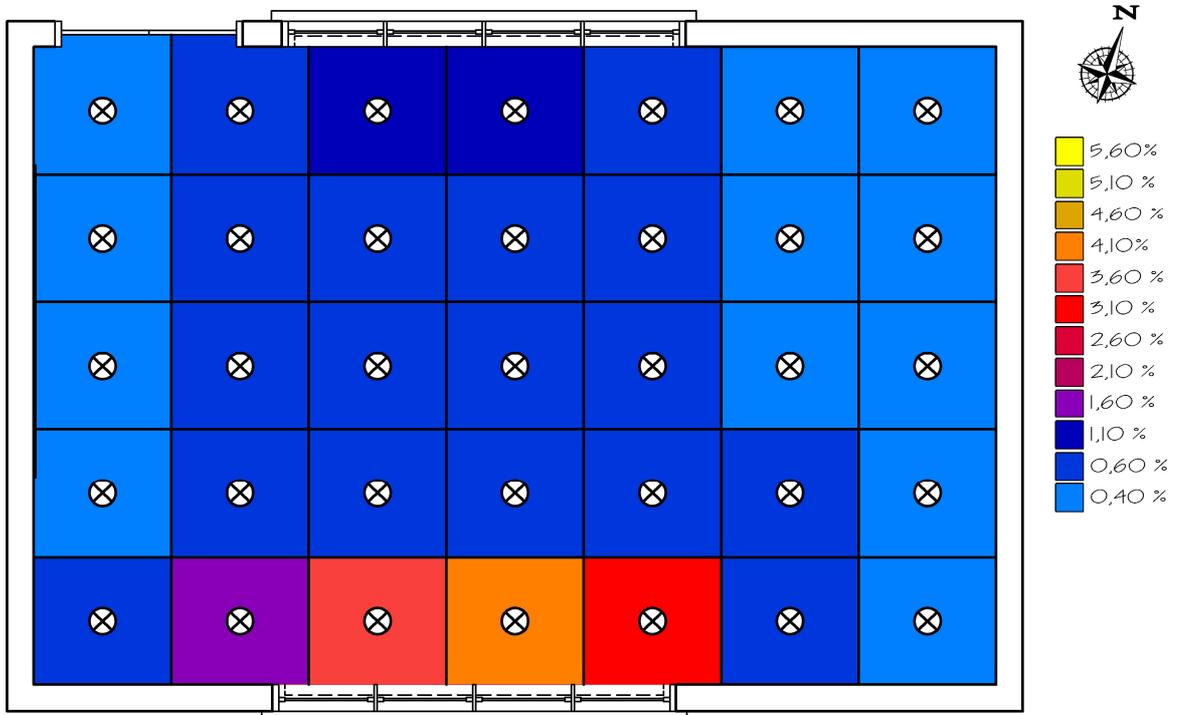
MEDIÇÕES REALIZADAS AS 15:15h											
VALORES DE ILUMINÂNCIA MEDIDOS <i>IN LOCO</i> (LUX)						VALORES DE FLD CALCULADOS (%)					
	E	D	C	B	A		E	D	C	B	A
1	48	34	34	34	23	1	0,52	0,37	0,37	0,37	0,25
2	112	37	37	38	43	2	1,22	0,40	0,40	0,41	0,47
3	299	43	39	41	63	3	3,25	0,47	0,42	0,45	0,68
4	351	45	35	41	60	4	3,82	0,49	0,38	0,45	0,65
5	260	40	35	39	54	5	2,83	0,43	0,38	0,42	0,59
6	51	36	32	37	27	6	0,55	0,39	0,35	0,40	0,29
7	35	30	28	33	24	7	0,38	0,33	0,30	0,36	0,26
ILUMINÂNCIA EXTERNA: 9.200 lux											

Quadro 5: medições realizadas as 15:15h e valores de FLD calculados

Foi feita uma análise conjunta dos valores de FLD adquiridos e, através do cálculo da média aritmética, foi adquirido um FLD médio para a sala em estudo. Para cálculo da média foram desconsiderados quatro valores medidos, por apresentarem resultados incoerentes, são eles: ponto A6 das 9:15h, A3 das 11:15h e pontos A3 e A6 das 13:15h. O resultado do FLD médio é apresentado abaixo, no quadro 6, e sua representação gráfica em *falsecolor*, na figura 17.

VALORES DE FLD MÉDIO CALCULADOS (%)					
	E	D	C	B	A
1	0,52	0,37	0,37	0,37	0,25
2	1,22	0,40	0,40	0,41	0,47
3	3,25	0,47	0,42	0,45	0,68
4	3,82	0,49	0,38	0,45	0,65
5	2,83	0,43	0,38	0,42	0,59
6	0,55	0,39	0,35	0,40	0,29
7	0,38	0,33	0,30	0,36	0,26

Quadro 6: valores de FLD médio calculados

Figura 17: representação em *falsecolor* do FLD médio medido in loco

Observando os valores de FLD, nos quatro casos apresentados acima, é possível definir um padrão de iluminação para a sala estudada. Observam-se valores mais elevados próximos às janelas inferiores, tanto no lado norte, quanto no lado sul da sala

Nota-se, também, que o lado sul apresenta valores levemente maiores de FLD em relação ao lado norte, provavelmente devido à contribuição na reflexão da luz proveniente da componente de luz emitida pela abóboda celeste, que na fachada sul é desobstruída, e ao conjunto de sistemas de iluminação, composto pelas janelas superiores e prateleira de luz.

6.2 EMPREGO DO *SOFTWARE*

O software escolhido para a simulação foi o Ecotect, *software* desenvolvido originalmente pela empresa australiana Square One Research PTY LTD. E, atualmente, pertencente a Autodesk Inc.. Desenvolvido para ser utilizado como ferramenta de ensino, o Ecotect apresenta facilidade de uso e rápido aprendizado e, além disso, demonstra resultados confiáveis (ROBERTS, MARSH⁹, 2001 apud TAVARES, 2007, p. 62), podendo analisar iluminação natural e artificial, insolação, conforto térmico e acústico.

O Ecotect possui ferramentas próprias de fácil utilização para modelagem e um site¹⁰, com tutoriais completos sobre suas funções de desenho e simulação. Além disso, disponibiliza a opção de importar arquivos de programas de desenho técnico e de modelagem, como AutoCAD, 3DMax, entre outros. O Ecotect utiliza o método BRE para cálculo do FLD, podendo, ainda, ter seu modelo calculado pelo Radiance (TAVARES, 2007, p. 62).

O Radiance é um *software* inicialmente desenvolvido pelo Departamento de Energia dos EUA para plataformas UNIX. Já o Ecotect pode fazer uso da versão chamada Desktop Radiance, um *plug-in* para plataforma Windows. desenvolvido para o AutoCAD. Utiliza métodos avançados de *Ray Tracing*, com técnica de Monte Carlo. A avaliação dos resultados pode ser feita de forma qualitativa e quantitativa, através de pontos na imagem, curvas isolux ou imagens *falsecolor* (TAVARES, 2007, p. 61 - 62). De acordo com Tavares (2007, p. 58 - 59), o algoritmo de cálculo de *Ray Tracing*, com técnica de Monte Carlo, utiliza o chamado

9 ROBERTS, Andrew; MARSH, Andrew. **ECOTECT: Environmental Prediction in Architectural Education**, 2001. Disponível em: <http://companyshed.com/1023649200/documents/2001_ECAADE.pdf>

10 Disponível em: <http://sql.org/wiki/Ecotect_Tutorials>

método direto para simulação (considera que os raios partem da fonte de luz), diferente de outros algoritmos que consideram os raios partindo da câmera virtual.

Para as simulações realizadas foram empregadas duas versões do Ecotect, a versão 5.5 e a versão 2010 (última versão disponibilizada pela Autodesk). Para aquisição de resultados foi utilizado o próprio motor de cálculo do Ecotect 2010 e, por fornecer uma melhor apresentação visual, o modelo foi exportado para o Desktop Radiance, através do Ecotect 5.5 (a versão 2010 do Ecotect apresentou problemas ao importar os modelos).

Ao se iniciar um processo de simulação lumínica no Ecotect, o *software* guia o usuário através de um menu de configurações (chamado de *Calculation Wizard*). Para as simulações realizadas neste trabalho, com o Ecotect 2010, as configurações usadas podem ser vistas na figura 18.

The screenshot shows the 'Calculation Wizard' interface for Ecotect 2010, specifically 'STEP 7 OF 7 (SUMMARY)'. The interface is organized into several sections:

- Calculation Type:** A dropdown menu set to 'Natural Light Levels - Daylight Factors & Levels'.
- General Settings:** Two dropdown menus: 'High Precision' and 'Average Windows'. To the right are three checkboxes: 'Auto-save model' (unchecked), 'Fully compliant thermal model' (unchecked), and 'Increased accuracy mode' (checked).
- Sky Conditions:** A dropdown menu set to 'CIE Overcast Sky' and a text input field set to '9500 lux'.
- Calculate Over:** Three radio buttons: 'POINT Objects' (unchecked), 'Analysis Grid' (checked), and 'Full 3D Grid Analysis' (unchecked). To the right is a checkbox for 'Display test points' (unchecked).
- Use Wizard:** A checkbox labeled 'Always skip this wizard' (unchecked).
- Navigation:** Buttons for '<< Back', 'OK', and 'Cancel'.

Figura 18: configurações de simulação para uso do Ecotect 2010

A opção de *Average Windows* diz respeito a condições de sujidade das janelas. A opção utilizada, condições medianas, utiliza um fator redutor de 0,9 para a transmitância das janelas.

Em *Sky Conditions* pode ser verificada as condições de céu simuladas. A opção escolhida foi a de céu encoberto (*Overcast Sky*), com intensidade luminosa de 9500 lux. Esta intensidade de iluminação é calculada pelo próprio software, com base na latitude de localização do modelo. O valor sugerido é baseado em uma equação polinomial de terceira ordem, que melhor se adéqua aos valores coletados por diversos anos pelo autor do software (trabalho não publicado)¹¹.

Para os modelos exportados para o Radiance toda a configuração inicial é feita no Ecotect (utilizou-se a versão 5.5), antes da exportação do modelo. As configurações utilizadas podem ser vistas na figura 19, abaixo.

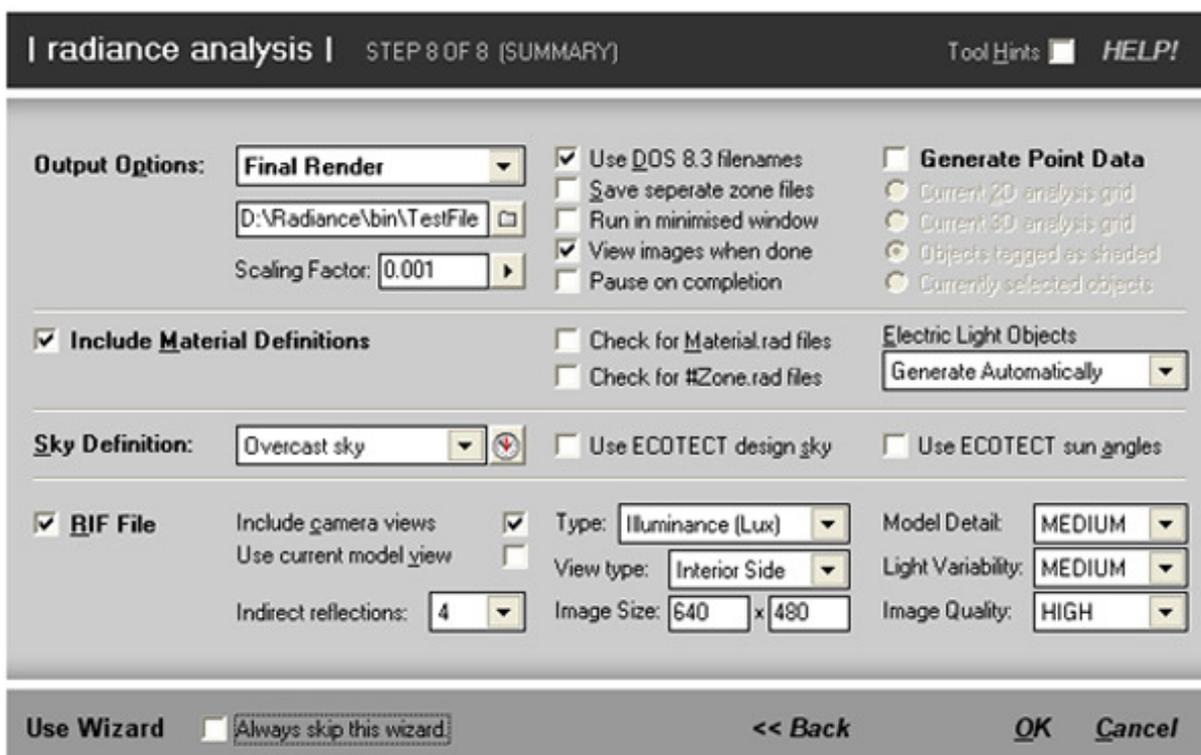


Figura 19: configurações de simulação no Ecotect 5.5, para uso no *software* Desktop Radiance

Devido a falta de dados climatológicos ou medições de Disposição de Luz Natural, na região onde se localiza a escola, não foi possível determinar um céu característico para o modelo que validasse os valores obtidos de iluminância interna. Sendo assim os resultados apresentados

¹¹ Sistema de ajuda do *software* Ecotect.

para as simulações são referentes ao Fator de Luz Diurna (FLD), o que fornece uma adequada percepção da iluminação do ambiente. Porém, sem um valor correlato de iluminação externa, não garante uma adequação da iluminação para o uso.

6.2.1 Simulação do caso estudado

A fim de caracterizar o aproveitamento de luz natural no ambiente estudado foi desenvolvido um modelo computacional em 3D da sala de aula. Este modelo computacional de situação foi desenvolvido segundo as dimensões construídas, visto que podem ter ocorrido adaptações construtivas do projeto arquitetônico, durante a fase de implantação.

A fim de constatar a eficiência do sistema de iluminação composto por janelas superiores e prateleira de luz, e verificar sua contribuição para iluminação natural da sala, foram executadas, além da simulação do ambiente construído, duas simulações adicionais. Uma com a exclusão das janelas superiores e prateleira de luz e outra com a exclusão das janelas inferiores das fachadas norte e sul. Os resultados obtidos foram comparados com a simulação do modelo de situação.

6.2.1.1 Modelagem

Os modelos foram desenvolvidos com uso das ferramentas de desenho fornecidas pelo Ecotect e utilizando, quando necessário, os tutoriais presentes no site do programa. Abaixo, pode ser visto o resultado alcançado para o modelo da situação real da sala. A figura 20 apresenta o interior da sala, enquanto a figura 21 mostra a representação externa (fachada norte). As cotas de modelagem podem ser verificadas no anexo C.

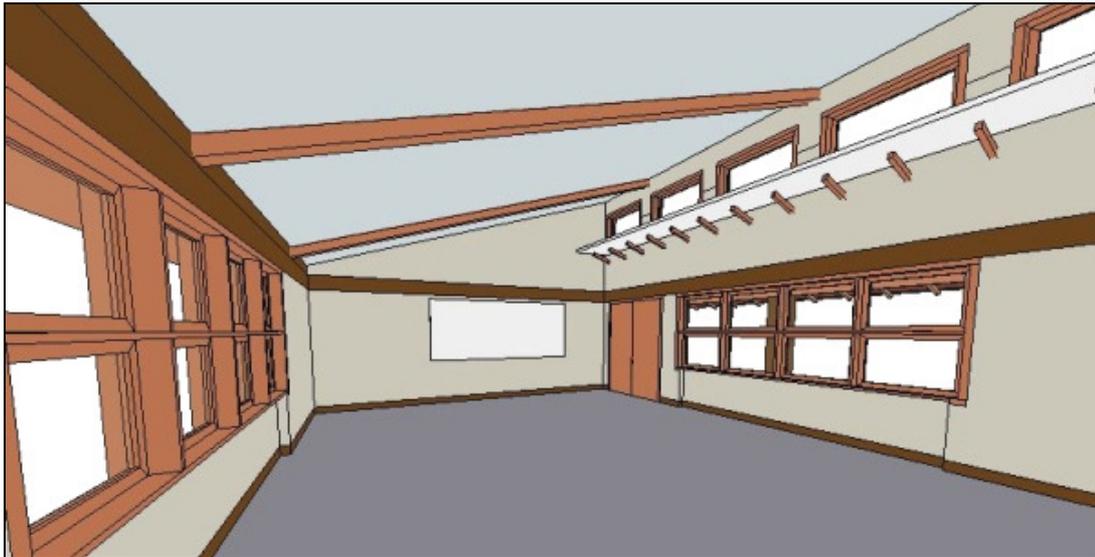


Figura 20: modelo do caso real desenvolvido no Ecotect, visão interna



Figura 21: modelo do caso real desenvolvido no Ecotect, visão externa

O tratamento das paredes foi dado com modelagem volumétrica, ou seja, foram utilizados dois planos para sua representação (interno e externo), visto que a espessura da parede, assim como de elementos de fechamento – marcos de janelas, por exemplo –, são importantes para o estudo lumínico, por definirem melhor a zona de sombreamento e reflexão. Modelos desenvolvidos para outros propósitos não necessitam de modelagem volumétrica, como estudo térmico, por exemplo, pois utilizam apenas um plano na composição dos seus elementos, determinando suas espessuras na composição interna dos materiais.

As águas dos telhados norte e sul receberam tratamento similar ao das paredes e elementos em geral, tendo sua volumetria representada por planos. Portanto, foram desconsideradas as curvaturas das telhas, visto que sua pequena contribuição (dada a baixa refletância difusa) no espalhamento da luz que entra pelas janelas superiores, não justifica o aumento na complexidade de modelagem e o aumento de tempo de processamento da simulação.

Devido à complexidade de modelagem, foram desconsideradas as presenças de certos elementos como: sistema tensor da estrutura da água sul, luminárias, as escoras temporariamente presentes na sala de aula. Foi desconsiderada, também, a presença de móveis, visto que em sua grande maioria se localizam em um plano inferior ao plano de trabalho ou em cantos, onde sua presença teria baixa influência sobre a distribuição da iluminância. Toda a vegetação e elementos externos ao prédio também foram desconsiderados.

Como entrada de dados para análise lumínica, além da geometria modelada, o Ecotect utiliza a localização geográfica do modelo, sua altitude, azimute e os seguintes índices físicos dos materiais constituintes: absorção solar, transmitância visível, reflexão, especularidade e refração (para os vidros das janelas).

Para aquisição da localização geográfica foi utilizado o Google Maps, através de um link¹² fornecido pelo Ecotect, em sua versão 2010, bastando localizar a instituição desejada e apontar um marcador sobre ela. As informações adquiridas através deste método foram: latitude de -29.4557° , longitude de -51.2932° . A altitude adotada foi de 49 m, um valor aproximado, também adquirido através do Google Maps. O azimute foi adquirido através das plantas arquitetônicas, porém existe uma pequena variação do valor do ângulo de azimute, entre uma planta e outra. Sendo assim optou-se por um valor médio aproximado de 18° .

Os índices físicos dos materiais utilizados foram os presentes na biblioteca de materiais do próprio programa, fazendo alguns ajustes quando necessário, como, por exemplo, a reflexão que é calculada pelo programa quando do ajuste da cor do material, que por sua vez partiu de análise visual. A absorção é fornecida automaticamente pelo ajuste da reflexão. Os valores utilizados são apresentados no quadro 7, a seguir.

12 Disponível em: <<http://sql.org/wiki/GetLocation>>. Acessado em: 20 de out. de 2009

ELEMENTO	Transmitância visível – <i>Visible Transmittance</i>	Reflexão – <i>Color (Reflect)</i>	Especularidade – <i>Especularity</i>	Refração – <i>Refractive Index of Glass</i>
Alvenaria de tijolo à vista	0,0%	25,3%	0,0%	-
Parede interna, rebocada e pintada na cor bege	0,0%	74,2%	5,0%	-
Elementos em madeira, marcos, porta e telhado	0,0%	48,3%	0,0%	-
Telhas cerâmicas	0,0%	38,4%	0,0%	-
Piso interno, cerâmica cinza	0,0%	48,7%	10,0%	-
Piso externo, tijolos	0,0%	25,3%	0,0%	-
Vidros	89,90%	94,9%	0,0%	1,74
Forro interno	0,0%	78,9%	10,0%	-
Prateleira de luz	0,0%	89,8%	20,0%	-
Quadro	0,0%	89,8%	50,0%	-

Quadro 7: índices físicos utilizados nos modelos simulados

O Ecotect impossibilita o uso de reflexões acima de 0.96, para janelas, e 0.9, para outros materiais. Por isso, embora as cores da prateleira de luz e do quadro sejam visualmente percebidas como brancas, as cores utilizadas no modelo tendem ao cinza, de forma que suas reflexões sejam aceitas pelo *software*.

6.2.1.2 Resultados

Para uma primeira aproximação da simulação da sala foi definida uma grade similar à distribuída durante as medições in loco. A diferença principal está na forma de consideração dos pontos. Enquanto o método proposto pelo projeto de Norma 02:135.02-004 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003d) considera como ponto de medição, o centro de uma área de distribuição lumínica, o Ecotect considera o ponto de leitura como sendo um dos quatro vértices que compõe a área. Devido a esta diferença na composição das áreas, a comparação das figuras compostas por *falsecolor* não pode ser feita de forma direta, sendo mais conveniente a avaliação dos valores de FLD entre o modelo e as

medições *in loco*. O quadro 8 apresenta uma transcrição dos resultados obtidos pela simulação do Ecotect e rerepresenta os valores de FLD médios obtidos *in loco*.

FLD FORNECIDOS PELO ECOTECT (%)						FLD MÉDIOS <i>IN LOCO</i> (%)					
	E	D	C	B	A		E	D	C	B	A
1	1,13	0,89	1,04	0,94	0,70	1	0,52	0,37	0,37	0,37	0,25
2	2,52	1,89	1,58	1,69	1,61	2	1,22	0,40	0,40	0,41	0,47
3	6,40	2,95	2,32	2,36	3,72	3	3,25	0,47	0,42	0,45	0,68
4	7,18	3,77	2,54	2,47	4,25	4	3,82	0,49	0,38	0,45	0,65
5	5,28	2,63	1,95	2,14	3,56	5	2,83	0,43	0,38	0,42	0,59
6	1,51	1,33	1,49	1,48	1,29	6	0,55	0,39	0,35	0,40	0,29
7	0,91	1,26	1,41	0,95	0,84	7	0,38	0,33	0,30	0,36	0,26

Quadro 8: valores de FLD adquiridos através de simulação computacional e medidos *in loco*

Como pode ser verificado pela distribuição do FLD no interior da sala de aula dos dois casos, o modelo virtual apresentou resultados mais elevados em relação ao aproveitamento lumínico natural, porém mantendo uma semelhança com relação às características de distribuição de iluminâncias. Observam-se picos de iluminância nos pontos adjacentes às janelas inferiores (pontos A3, A4 e A5 e pontos E1, E4 e E5), em ambos os casos, enquanto os pontos com menores valores de FLD são encontrados nas paredes leste e oeste (linhas 1 e 7), distante das janelas. Já a área central de medições apresentou resultados distintos nos dois casos.

Os valores medidos *in loco* demonstram um decaimento abrupto no FLD dos pontos da área central em relação aos pontos próximos as janelas, enquanto que no modelo simulado este decaimento é mais gradual.

Abaixo, são apresentadas algumas formas gráficas de análise disponíveis no software Ecotect. A figura 22 mostra a distribuição de áreas gerada pela grade do modelo, lembrando que os pontos de medição estão presentes no vértices das áreas e não no centro delas.

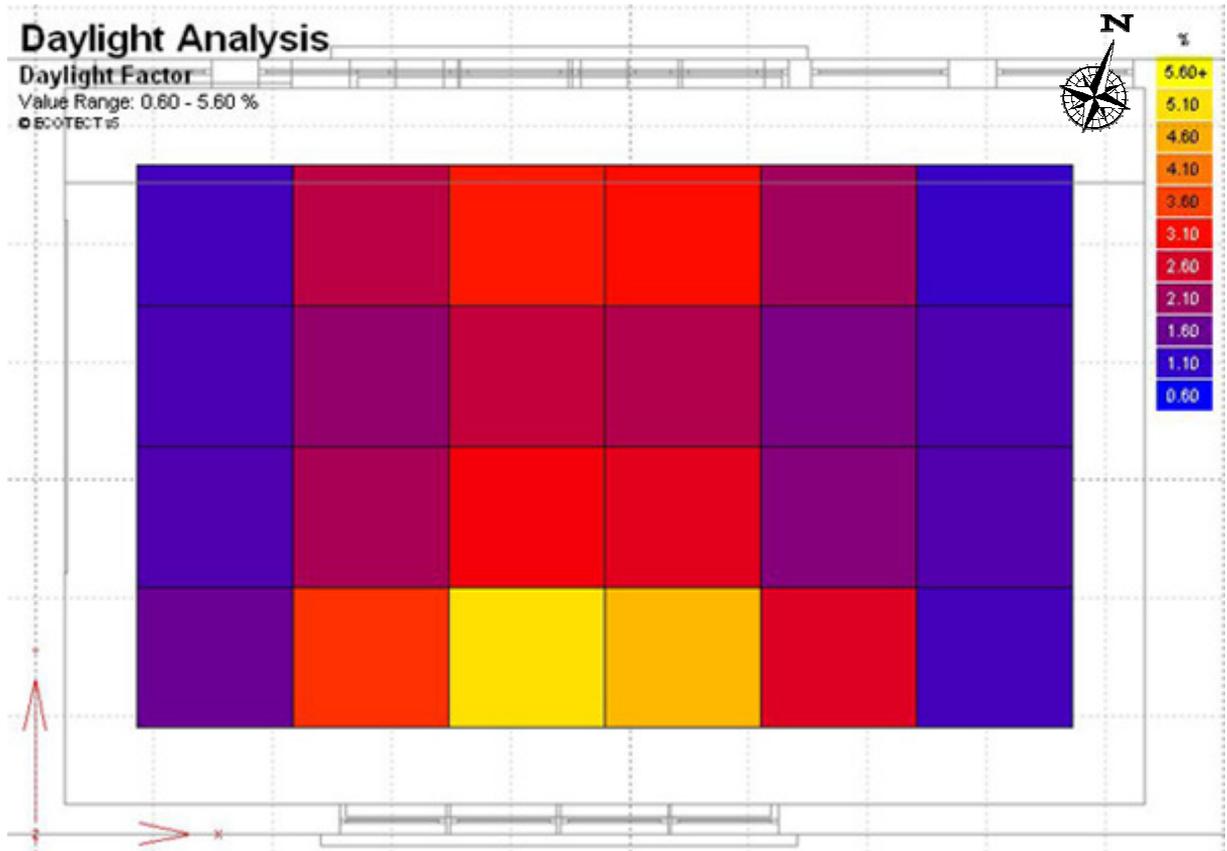


Figura 22: simulação computacional do modelo real com pontos posicionados segundo medição in loco

Foi realizada para este modelo uma segunda simulação, com uma nova malha de distribuição de pontos. Esta nova malha foi definida a 15 cm das paredes internas do modelo, à altura do plano de trabalho (70 cm), com uma distribuição de 140 pontos de medição. A figura 23 apresenta esta nova malha, com uma distribuição de FLD visualizada em níveis.

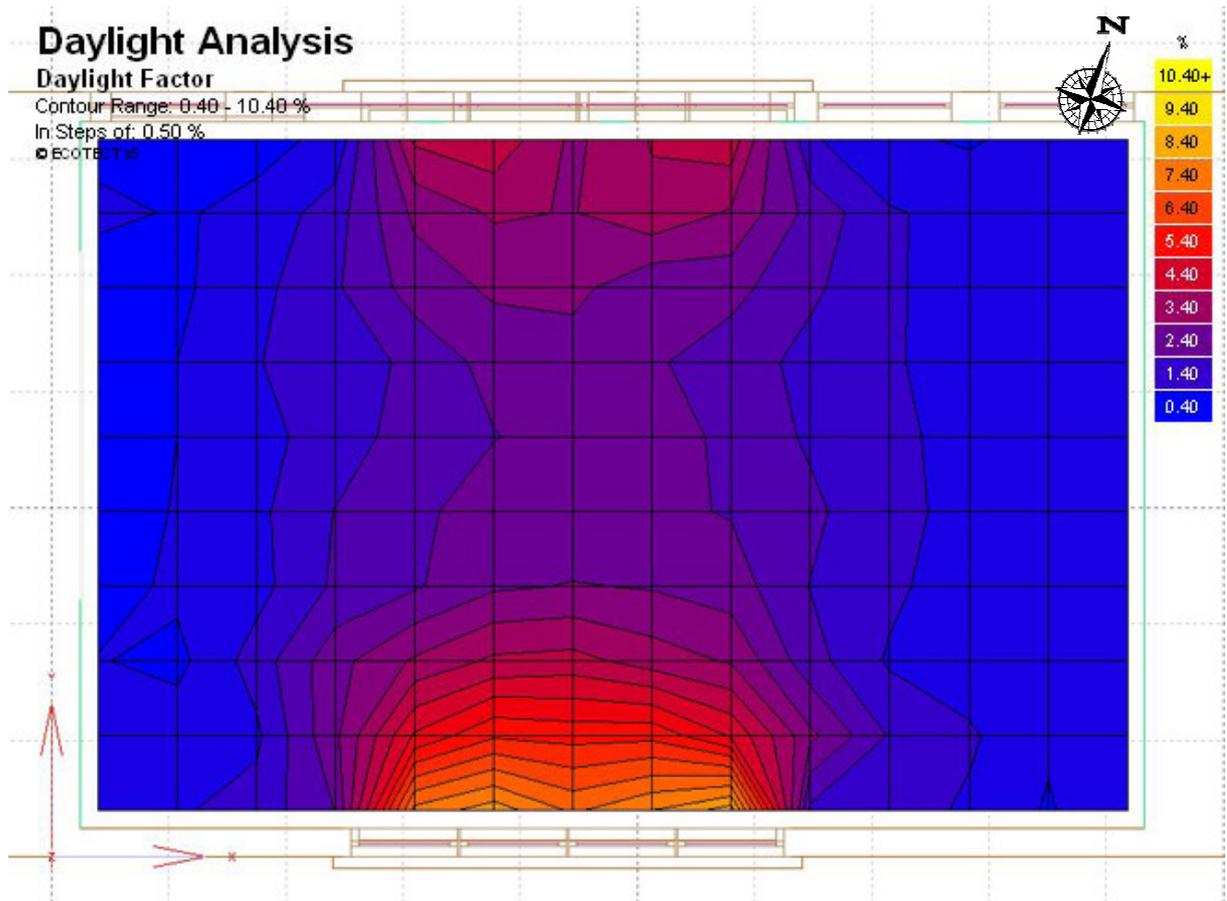


Figura 23: simulação computacional do modelo real com visualização em linhas de nível e malha refinada

Com a malha mais refinada e a divisão por níveis, pode ser melhor entendido o que ocorre com a iluminação natural no interior do modelo e visualizar as nuances de variação da luminosidade. Os picos de iluminância se distribuem como na malha menos refinada, apresentada na figura 22. Com valores de FLD obtidos para esta nova malha, encontram-se entre 0,40 e 9,40%, estando as paredes leste (direita da figura) e oeste (esquerda da figura) com os menores valores de iluminação.

Para uma visualização, da distribuição das intensidades luminosas na sala simulada, foi utilizado o motor de cálculo do Radiance. Abaixo, na figura 24, pode ser visto o resultado visual, do ponto de vista de duas câmeras virtuais, posicionadas no interior do modelo. As câmeras foram posicionadas em vértices opostos da sala, fornecendo uma vista completa do modelo.



Figura 24: visualização do ambiente simulado, com renderização gerada pelo Desktop Radiance

6.2.1.3 Estudo da prateleira de luz

Os modelos para estudo da contribuição do sistema de prateleira de luz, para a iluminação natural da sala de aula, seguiram as mesmas definições de materiais e dimensões do modelo que o estudo o caso real, sendo realizadas, então, apenas as modificações citadas abaixo:

- a) caso 1 – retirada das janelas superiores que alimentam a prateleira de luz
- b) caso 2 – retirada das janelas inferiores

A figura 25 mostra os resultados alcançados com os modelos para estudo das prateleiras de luz. Os resultados para o caso 1 pode ser visualizado, abaixo, na figura 26. Já o resultado para o caso 2 é mostrado na figura 27.



Figura 25: modelos gerados no Ecotect para estudo da prateleira de luz, caso 1 (esquerda) e caso 2 (direita)

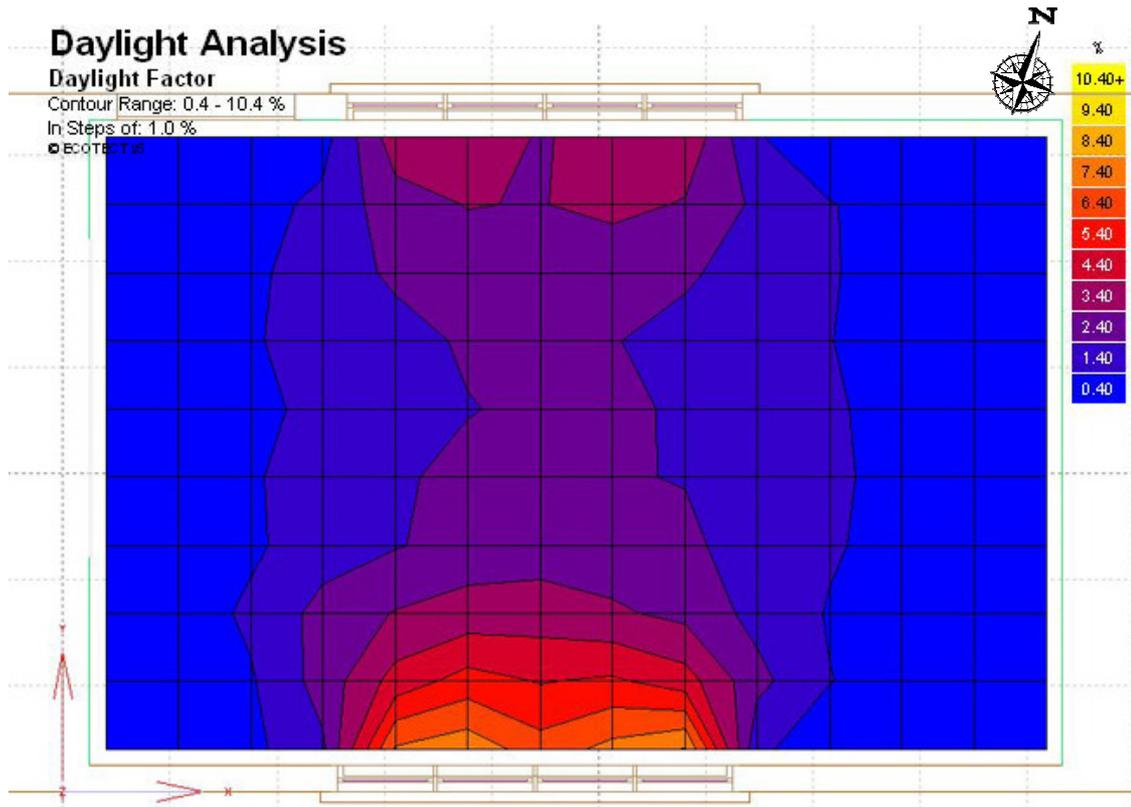


Figura 26: resultado obtido para o caso 1 de estudo da prateleira de luz (sem janelas superiores)

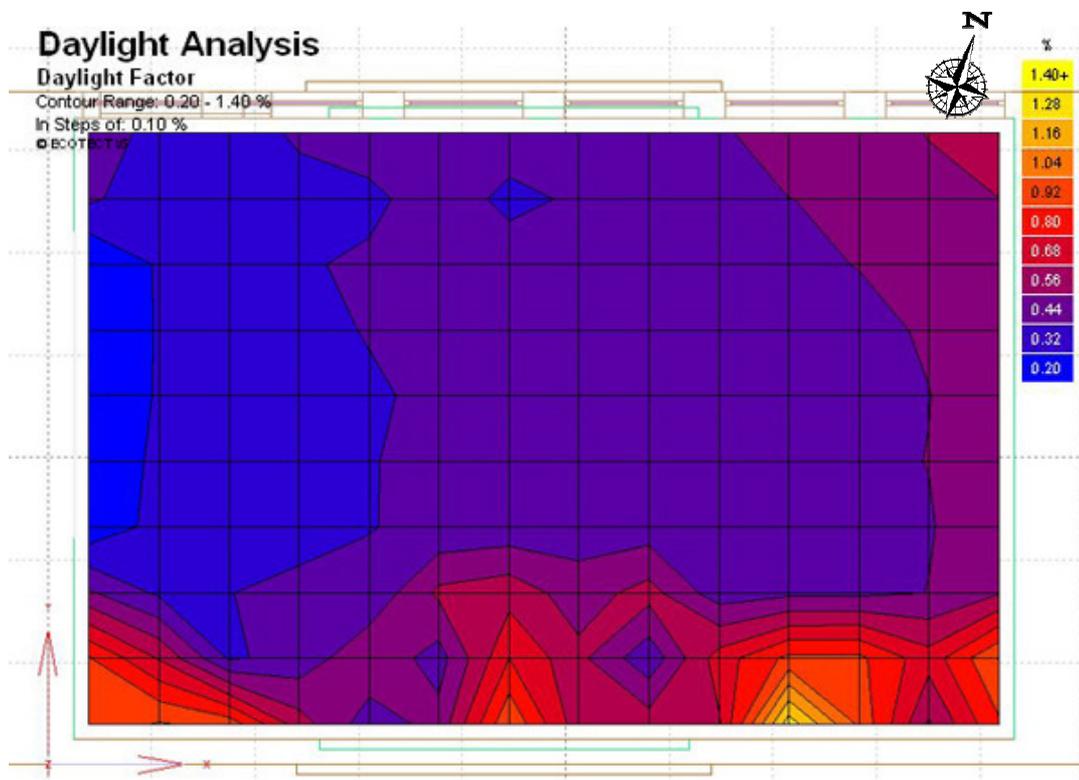


Figura 27: resultado obtido para o caso 2 de estudo da prateleira de luz (sem janelas inferiores)

Como pode ser observado, para as condições de céu encoberto simuladas, o caso 1 apresentou uma zona de iluminação mais intensa próxima as janelas inferiores, tal qual o modelo real, apresentando valores de FLD entre as faixas de 0,40 a 8,40%. Já o modelo de estudo do caso 2 apresentou valores baixos para FLD (note que a escala dos níveis da figura 27 é, aproximadamente, 7,5 vezes menor que a escala dos níveis da figura 26) estando concentrados na fachada sul tendendo a valores levemente maiores na parede leste (direita da figura). Os valores de FLD variam entre as faixas de 0,20 a 1,20%, no entanto os valores mais elevados, entre 0,50 e 1,20%, se concentram, quase que na totalidade, dentro de uma faixa de 75 cm junto à fachada sul.

Estes resultados demonstram que grande parte da iluminação existente próxima às janelas não tem uma contribuição por parte da prateleira de luz (acréscimo em torno de 1,00% do FLD, na janela da fachada sul, e 0,30%, na fachada norte). O resultado também demonstra que parte do aumento gradativo da iluminação, no sentido norte-sul, deve-se a presença da prateleira de luz, embora este aumento seja mínimo na concepção de um todo.

6.2.2 Simulação de proposta arquitetônica para o caso

Para o segundo modelo da sala de aula foram modificadas as posições das janelas inferiores, de forma a buscar um melhor alinhamento e distribuição das mesmas, ao longo das paredes norte e sul. Suas dimensões foram reajustadas, para que fosse possível manter a área de abertura igual à existente no local, porém mantendo um módulo de esquadria apenas. Isso ocasionou uma mudança na distribuição das áreas de abertura, que passou a ser maior na parede sul, embora a sala apresentasse um mesmo valor total. A presença de uma maior área de vidro na fachada sul deve propiciar um melhor aproveitamento da iluminação difusa, proveniente da abóboda celeste, que, como foi demonstrado nas simulações anteriores, é uma componente importante da iluminação natural da sala.

6.2.2.1 Modelagem

Todos os padrões de modelagem seguem o modelo de estudo do caso real, com exceção das janelas inferiores. Os módulos das janelas inferiores, que continham oito janelas basculantes

cada, foram substituídos por janelas basculantes individuais, com novas dimensões, e distribuídas nas fachadas norte e sul.

Para determinar as dimensões das novas janelas foi calculada a área total de vidro da sala (considerando apenas as janelas inferiores) e recalculado para uma nova modulação de janelas basculantes. A idéia principal da proposta aqui apresentada é redistribuir, de forma linear, e longitudinal as janelas nas fachadas norte e sul, buscando um melhor espalhamento da iluminação. O quadro 9 apresenta as áreas de janelas definidas por fachada do modelo real e da proposta aqui apresentada.

ÁREAS DE VIDRO NAS JANELAS (m²)		
	Caso Real	Proposta
Fachada Norte	3,307	2,944
Fachada Sul	3,307	3,680
Total	6,614	6,624

Quadro 9: áreas de janelas por fachada do modelo real e da proposta apresentada

Foi adotado, para o modelo proposto, um módulo de janela com uma área de vidro de 0,74 m², com dimensões de vidro de 1,15 x 0,63 m (comprimento x altura), marcos no mesmo padrão do caso real e peitoril de 1,33 m. A opção por elevar as janelas buscou retirar da visão do aluno, em posição de estudo, a visão da área externa a sala, que pode vir a se tornar um objeto de distração. Foram posicionados quatro módulos na parede da fachada norte e cinco módulos na parede da fachada sul. As cotas de modelagem podem ser verificadas no anexo D.

Para os índices físicos dos materiais foram utilizados os valores já apresentados no capítulo 6.2.1.1, quadro 7, página 53. A figura 28 apresenta imagens internas do modelo proposto, enquanto a figura 29 mostra uma vista externa do mesmo modelo.



Figura 28: modelo proposto desenvolvido no Ecotect, visão interna

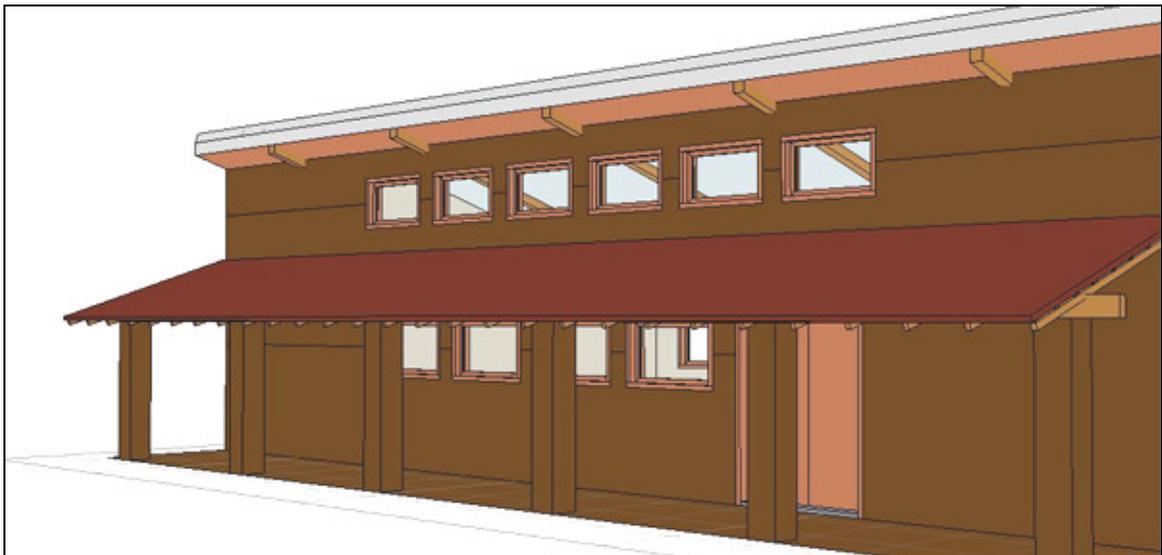


Figura 29: modelo proposto desenvolvido no Ecotect, visão externa

6.2.2.2 Resultados

O modelo proposto foi simulado pelo Ecotect e pelo Desktop Radiance, conforme configurações apresentadas no capítulo 7.2 (figura 18 e figura 19, respectivamente) deste trabalho. A malha utilizada remete ao refinamento feito no modelo real, tendo 140 pontos distribuídos do plano de trabalho e localizada 15 cm distante das paredes. O resultado obtido para a simulação do modelo proposto pode ser visto abaixo (figura 30).

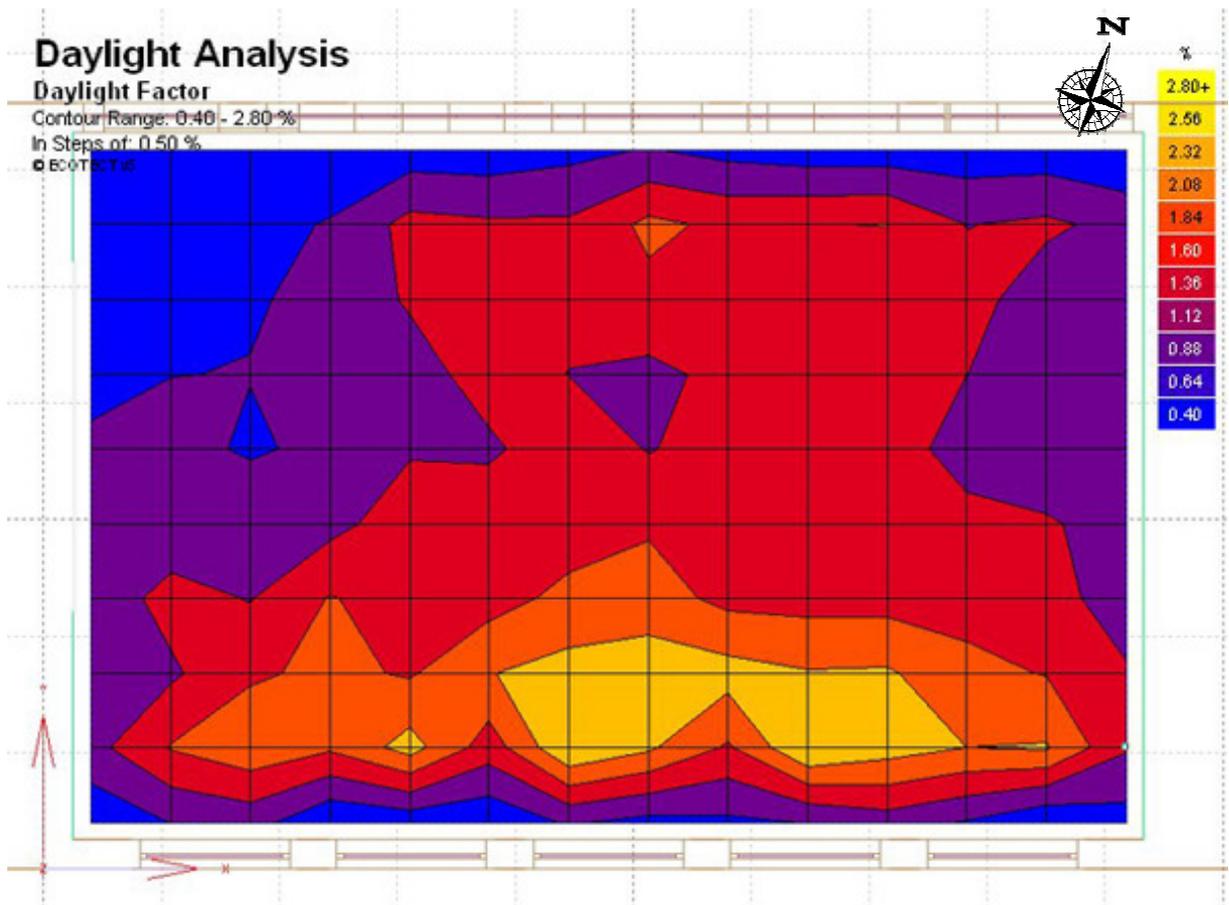


Figura 30: resultado de FLD obtido para o modelo proposto

Os valores máximos obtidos com esta configuração de janelas inferiores foram menores que os valores máximos obtidos na simulação do caso real. Os valores de FLD obtidos para este modelo ficaram, em sua maioria, entre as faixas de 0,40 a 2,56%, enquanto que para o modelo real os valores obtidos (para a malha de mesmas dimensões) ficaram entre 0,40 e 8,40%. No entanto ocorreu uma melhor distribuição das iluminações para o modelo proposto. A maior parte da área superficial do plano de trabalho apresentou valores de FLD entre 1,80 e 2,10%.

Pode-se dizer que a nova distribuição de janelas alcançou o objetivo idealizado, de minimizar a variação de iluminação no interior da sala, buscando uma distribuição mais uniforme e, possivelmente, mais agradável ao usuário.

A figura 31, a seguir, mostra o resultado obtido com a simulação do modelo proposto realizada pelo Radiance. Foram mantidas as mesmas posições, definidas no modelo real, para as câmeras virtuais nesta simulação.



Figura 31: visualização em do ambiente simulado com renderização gerada pelo Desktop Radiance

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As ferramentas de simulação computacional disponíveis no mercado, tal qual o Ecotect, quando simulando condições lumínicas, possibilitam ao projetista pré-visualizar as condições de iluminação de seu projeto, antevendo, assim, locais onde é possível dispensar ou minimizar a iluminação artificial, gerando economia de energia elétrica. Para este fim o projetista deve ter disponível dados de iluminação natural externa do local de seu projeto, para que os resultados obtidos possam ser relacionados às iluminâncias sugeridas pela NBR 5413/1992 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992), garantindo, assim, a adequação da edificação ao uso.

Através das simulações realizadas com o *software* Ecotec para a sala de aula da Unidade Feliz do Ifet, foi possível obter resultados de Fator de Luz Diurna (FLD) que caracterizam a distribuição de iluminação natural no interior do ambiente estudado. No entanto, as representações fornecidas pelo FLD não possibilitam a verificação das condições de uso da edificação, devido a ausência de dados de Disponibilidade de Luz Natural (DLN) na região em que se localiza a escola. A falta de dados de DLN impossibilitou uma introdução correta de iluminação natural externa (denominada Céu de Projeto) no software, que não foi capaz de fornecer dados de iluminâncias confiáveis para a situação do caso estudado.

A simulação do caso real do projeto apresentou uma razoável distribuição de luz no interior da sala de aula. Os valores de FLD focaram próximos a valores esperados na zona central da sala de aula, mas decaído bastante nos pontos afastados das janelas inferiores.

O estudo do sistema de prateleira de luz implantado, quando analisado com céu característico encoberto, mostrou resultados pouco satisfatórios, pois, em teoria, o espalhamento alcançado deveria ser de amplitude mais elevada, quando, na realidade, o resultado indica uma concentração de suas reflexões apenas na fachada sul da sala, que, neste caso, é a fachada mais iluminada, mesmo quando se desconsidera a existência da prateleira de luz. Porém deve-se ressaltar que o conceito de uso da prateleira de luz é de impedir a entrada de luz direta do sol e reaproveitá-la, por reflexão difusa, na iluminação do ambiente interno, característica impossível de ser simulada nas condições de céu encoberto.

O modelo de projeto arquitetônico proposto para o trabalho, e simulado em *software*, apresentou resultados distintos em comparação ao modelo real. Observou-se uma melhor

distribuição de luz natural no ambiente que, embora de menor intensidade, deve gerar um melhor conforto aos usuários.

Portanto, o emprego de *softwares* para simulação de iluminação de ambientes pode gerar resultados importantes para o desenvolvimento de projetos, desde que sejam conhecidas as condições de contorno necessárias ao emprego do *software* escolhido e sejam conhecidas as características da ferramenta utilizada.

8 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com base nos resultados obtidos neste trabalho, fica clara a possibilidade de um estudo mais detalhado, dentro do campo de simulação computacional para o projeto. Com a aquisição de valores de DLN, ou correta estimativa, é possível determinar as iluminâncias do ambiente e determinar as suas condições de uso.

Outra opção de desenvolvimento de trabalho pode visar análises computacionais, com o *software* Ecotect, com condições de céu variadas, em um modelo padrão. Com isso, pode ser verificada a capacidade do Ecotect em simular as diferentes condições de céu.

Os *softwares* para simulação lumínica, de forma geral, podem ser empregados em modelos diversos. O que abre a possibilidade de realizar um estudo a respeito das eficiências lumínicas, para diferentes configurações e sistemas de iluminação e/ou sombreamento.

REFERÊNCIAS

AMORIM, C. N. D. Iluminação Natural e Eficiência Energética – Parte I: Estratégias de Projeto para uma arquitetura sustentável. **Paranoá**, v. 4, 2002a. Disponível em: <http://www.unb.br/fau/pos_graduacao/paranoa/edicao2002/eficiencia_energetica.pdf>. Acesso em: 6 jun. 2009

_____. Iluminação Natural e Eficiência Energética – Parte II: Sistemas Inovadores para a Luz Natural. **Paranoá**, v. 4, 2002b. Disponível em: <http://www.unb.br/fau/pos_graduacao/paranoa/edicao2002/sistemas_inovadores.pdf>. Acesso em: 6 jun. 2009

ANDRADE, L. O futuro chegou. **Nova Escola**, edição especial, 2008. Disponível em: <<http://revistaescola.abril.com.br/gestao-escolar/diretor/futuro-chegou-423979.shtml>>. Acesso em: 28 abr. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **TB-23**: Iluminação – Terminologia. Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 5413**: Iluminância de interiores – Procedimento. Rio de Janeiro, 1992.

_____. **Projeto 02:135.02-001**: Iluminação natural – Parte 1: conceitos básicos e definições. Rio de Janeiro, 2003a.

_____. **Projeto 02:135.02-002**: Iluminação natural – Parte 2: procedimentos de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural. Rio de Janeiro, 2003b.

_____. **Projeto 02:135.02-003**: Iluminação natural – Parte 3: procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos. Rio de Janeiro, 2003c.

_____. **Projeto 02:135.02-004**: Iluminação natural – Parte 3: procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos. Rio de Janeiro, 2003d.

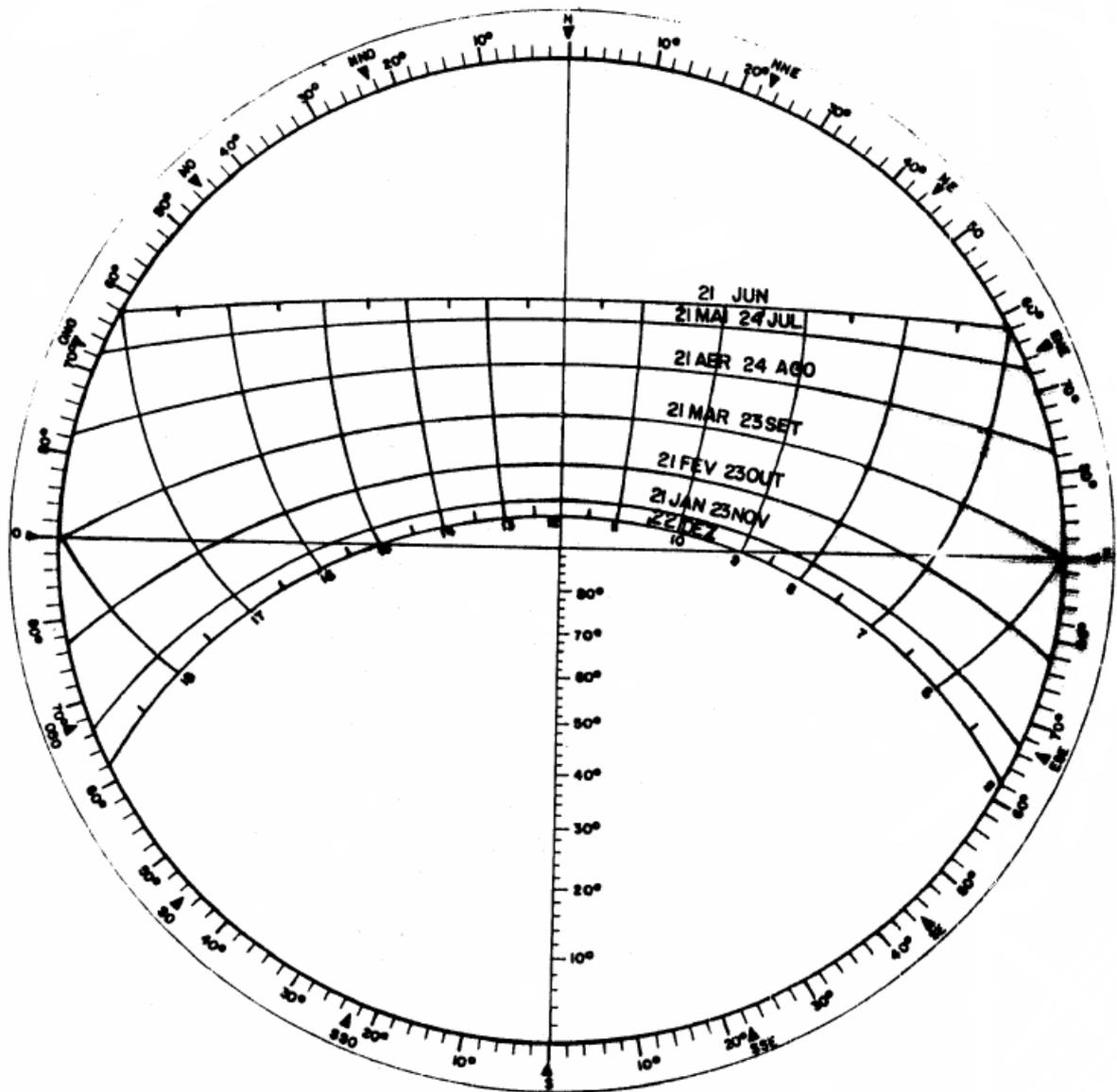
LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. **Eficiência energética na arquitetura**. 2 ed. São Paulo: Pro Livros, 2004.

MASCARÓ L.; MASCARÓ J. L. **Uso racional de energia elétrica em edificações: iluminação**. São Paulo: ABILUX; PROCEL, 1991

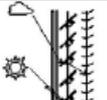
TAVARES, S. G.; **Simulação computacional para projeto de iluminação em arquitetura**. 2007. 169 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

**ANEXO A – Carta solar estereográfica da cidade de Porto Alegre
(trabalho não publicado)¹³**

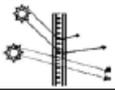
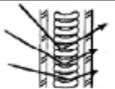
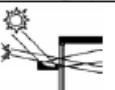
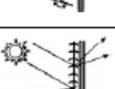
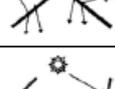
¹³ Notas de aula da disciplina Habitabilidade I do semestre de 2008/1 do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul ministrada pelo professor Miguel Aloysio Sattler.



ANEXO B – Classificação dos sistemas iluminação natural
(AMORIM 2002b, p. 3-4)

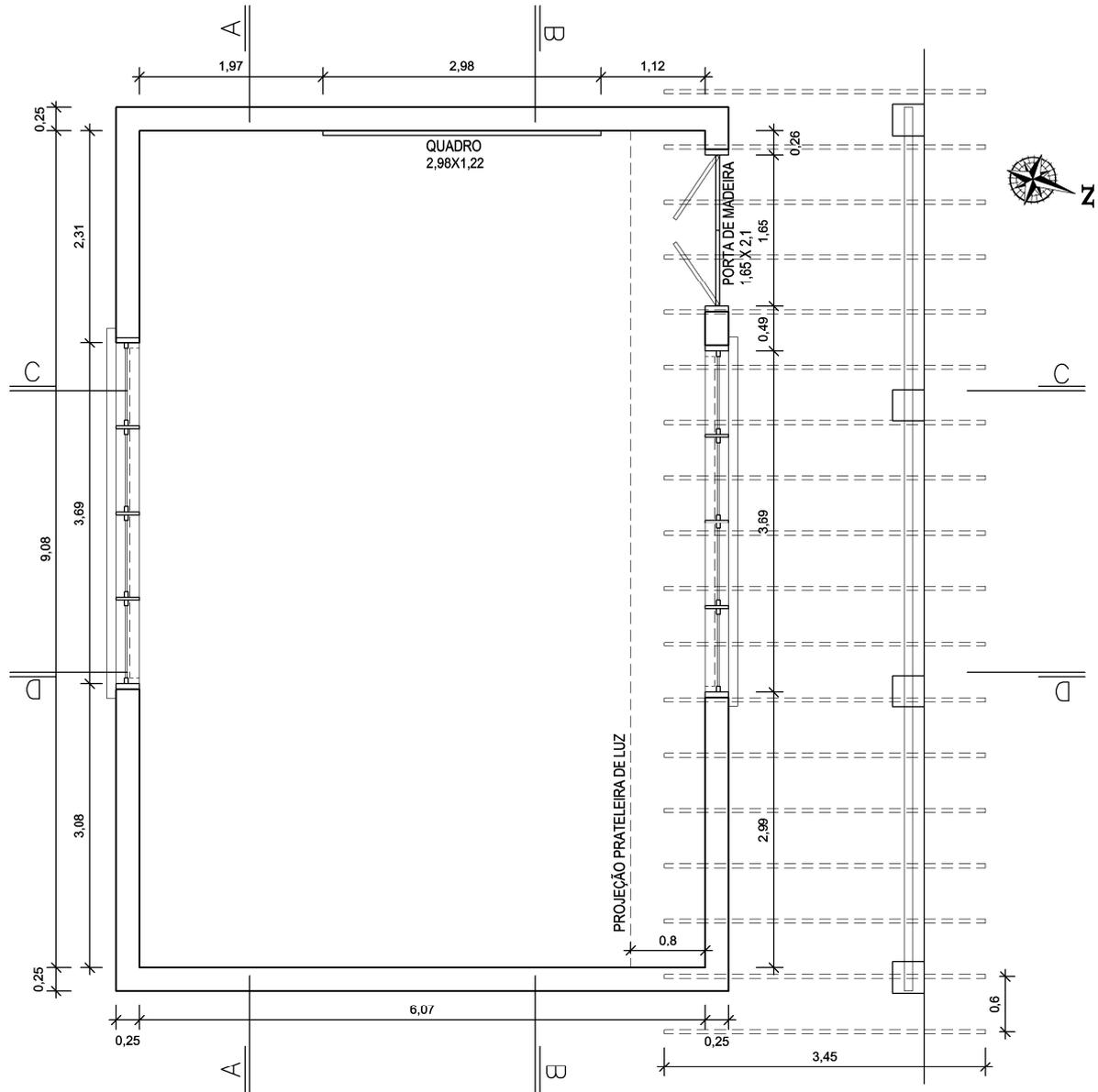
CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS PARA A LUZ NATURAL – I												
Categoria	Sistema		Clima	Localização	Critérios para Seleção							
	Tipo/Nome	Desenho			Proteção Solar	Proteção do Ofuscamento	Vista externa	Condução da luz p/ o fundo do ambiente	Uniformidade Iluminação	Economia Luz artificial	Disponibilidade	Produtor, desenvolvedor
1. Sistemas para Passagem da Luz Difusa	1.1 Prateleira de Luz		Climas Temperados, céu encoberto	AL	D	D	S	D	D	D	S	1 2
	1.2 Condução da luz difusa. c/ Elementos Óticos Holográficos		Climas Temperados, céu encoberto	AL AZ	N		S	S	S	S	S	3 4 5
	1.3 Forro Anidólico		Climas Temperados, céu encoberto	ALA	S		S	S	S	S	FT	8
2. Sistemas de Proteção Solar com Passagem da Luz Difusa	2.1 Painéis Prismáticos		Todos os climas	AL AZ	S	D	D	D	D	D	S	6
	2.2 Lamelas Prismáticas Aluminizadas		Climas Temperados	AL	S	S	D	S	S	S	S	6 7
	2.3 Grelha MicroLamela Reflexivas proteção solar		Climas Temperados	AZ	S	S	N	N	S	S	S	6
	2.4 Abertura zenital Anidólica		Climas Temperados	AZ	S	S	N	N	S	S	FT	8
	2.5 Proteção Solar c/ Guia de Luz		Climas quentes, céu claro	AL	S	S	S	D	D	D		10
	2.6 Concentração c/ Elem. Holográficos Óticos		Todos os climas	AL AZ	S	D	S	N	D	S	FT	3,4, 9
	2.7 Reflexão Total c/ Elem. óticos holográficos		Climas Temperados	AL AZ	S	D	S	N	S	S	S	3,4, 5,9

AL: Abertura Lateral; ALA: Abertura Lateral Alta; AZ: Abertura Zenital; S: sim; D: depende; N: Não; FT: em fase de testes; FD: em fase de desenvolvimento

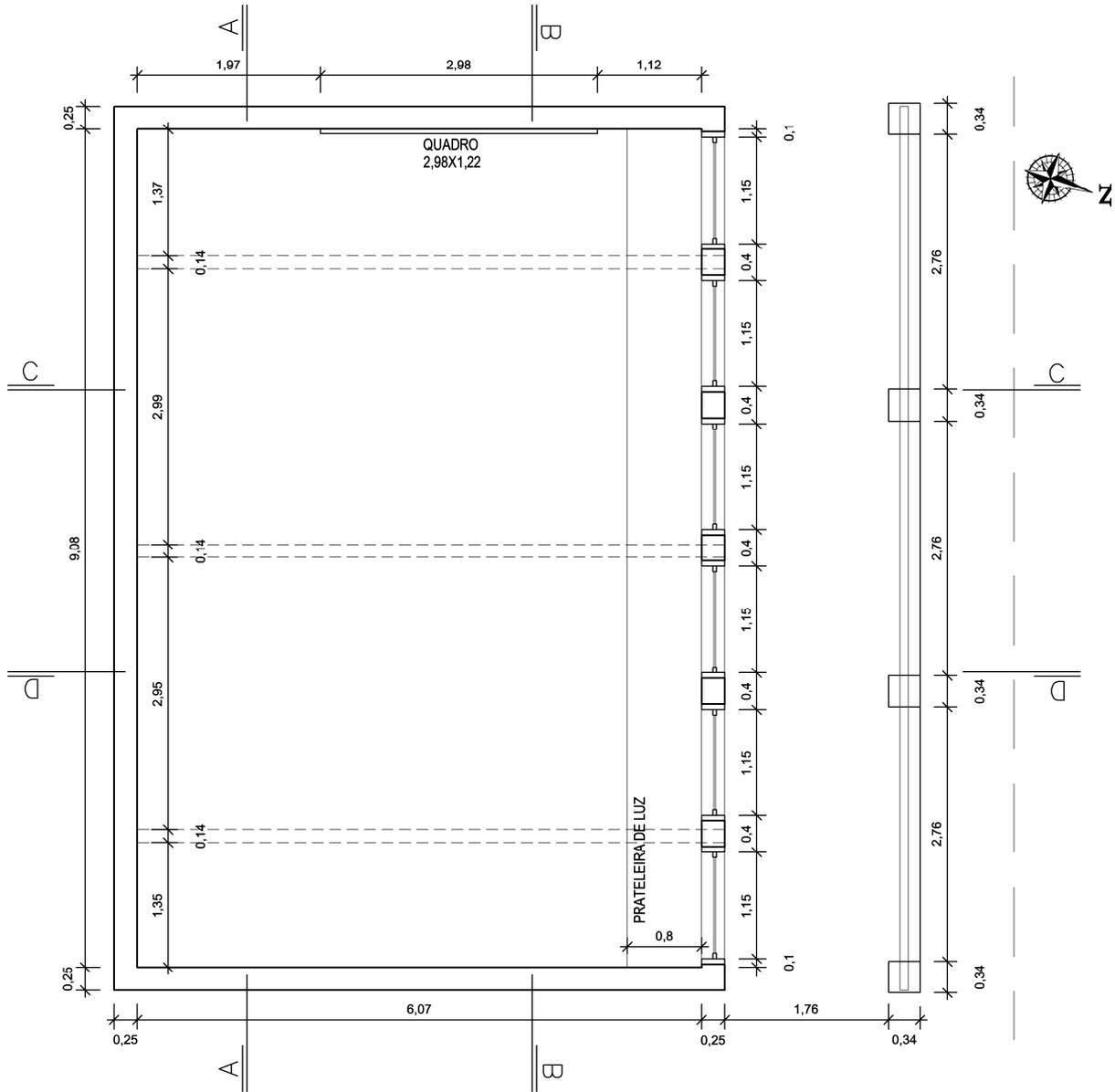
CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS PARA A LUZ NATURAL - II												
Categoria	Sistema		Clima	Localização	Critérios para Seleção							
	Tipo/Nome	Desenho			Proteção Solar	Proteção do Ofuscamento	Vista externa	Condução da luz p/ o fundo do ambiente	Uniformidade Iluminação	Economia Luz artificial	Disponibilidade	Produtor, desenvolvedor
3. Sistemas que Direcionam a Luz Solar Direta (sem Proteção)	3.1 Laser Cut Panel		Todos os climas	AL AZ	S	D	D	D	D	D	S	10
	3.2 Vidro para Condução da Luz		Climas Temperados	AL AZ		S	D	S	S	S	S	3 4
	3.3 Prateleira de luz p/ redirecionar luz direta		Todos os climas	AL	D	D	S	S	S	S	S	1 2
	3.4 Lamelas Giratórias		Climas temperados	AL AZ	S	S/D	D	S	S/D	S	S	2 9 11 12
	3.5 Persianas p/ Condução da Luz		Todos os climas	AL	S	S	S	D	D	D		10
	3.6 Concent. de Luz c/ Elem. Óticos Holográficos		Todos os climas	AZ		S	S	S	S	S	S	3 4 5
	3.7 Heliostato		Todos os climas, céu claro					S		S	S	15
4. Transporte de Luz	4.1 Condutos de Luz		Todos os climas, céu claro					S	S	S	S	16
	4.2 Fibras óticas		Todos os climas, céu claro					S	S	S	S	17
	4.3 Forro Condutor de Luz							S	S	S	FD	18
	4.3 Zenital c/ Laser Cut Panel		Climas quentes, céu claro, baixas latitudes	AL AZ	D	D		S	S	S	D	10
5. Sistema p/ Distribuição de Luz		Todos os climas	AL AZ		N	N	S	S	S	S	4,5, 13,20, 21,22	

AL: Abertura Lateral; ALA: Abertura Lateral Alta; AZ: Abertura Zenital; S: sim; D:depende; N:Não; FT: em fase de testes; FD: em fase de desenvolvimento

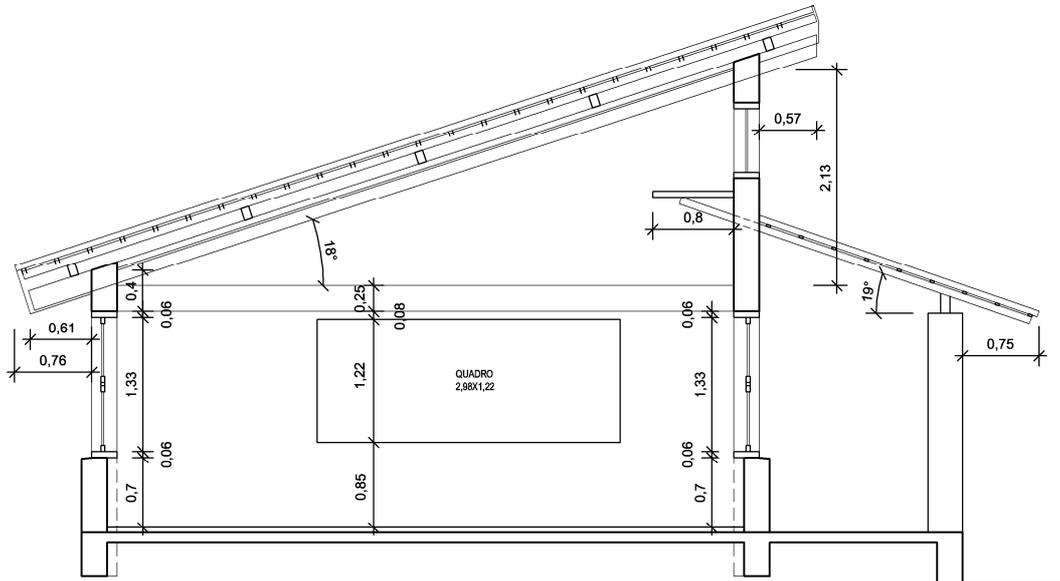
**ANEXO C – Planta baixa, cortes e detalhes arquitetônicos da sala estudada
utilizados para modelagem computacional no *software* Ecotect**



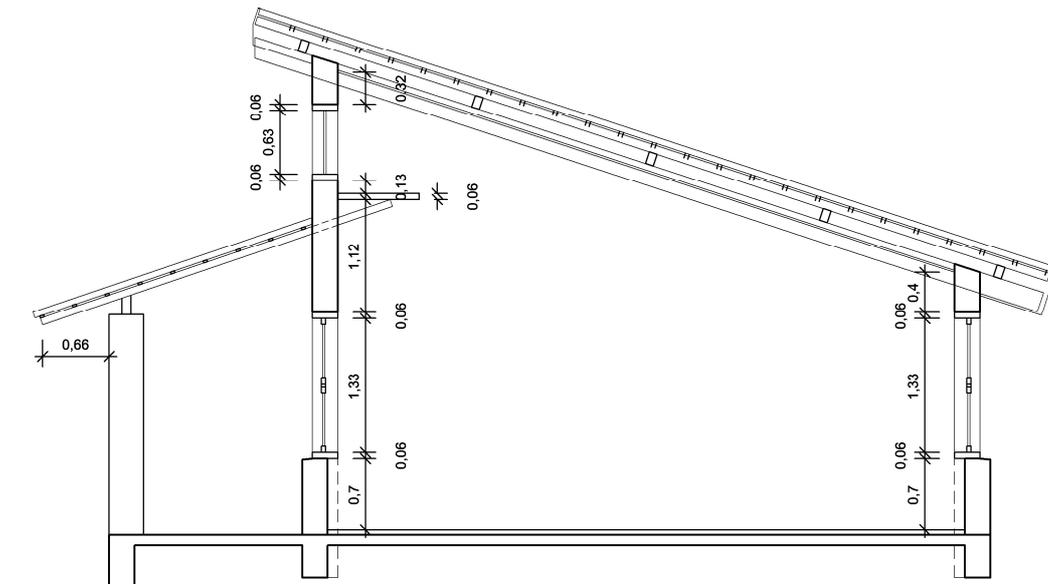
PLANTA BAIXA NÍVEL DO PISO
ESCALA 1:75



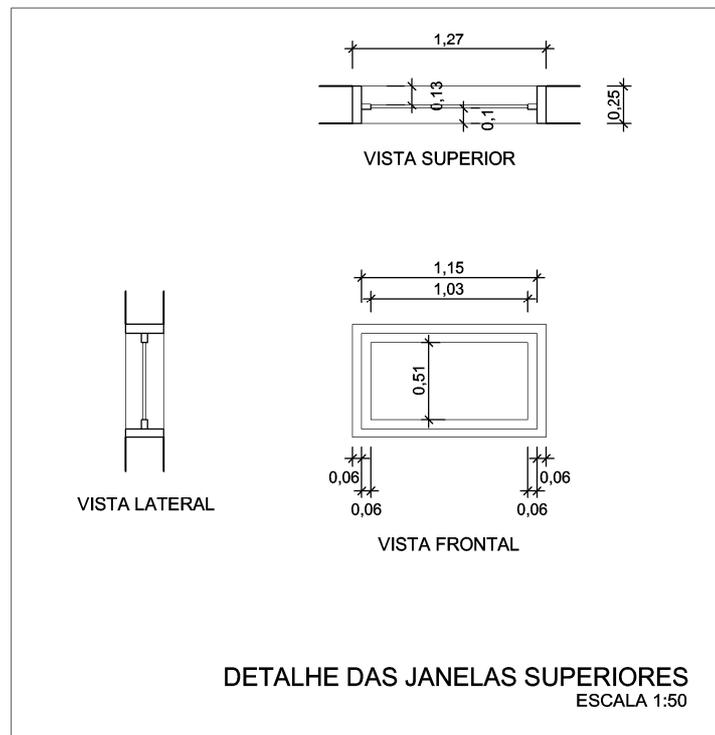
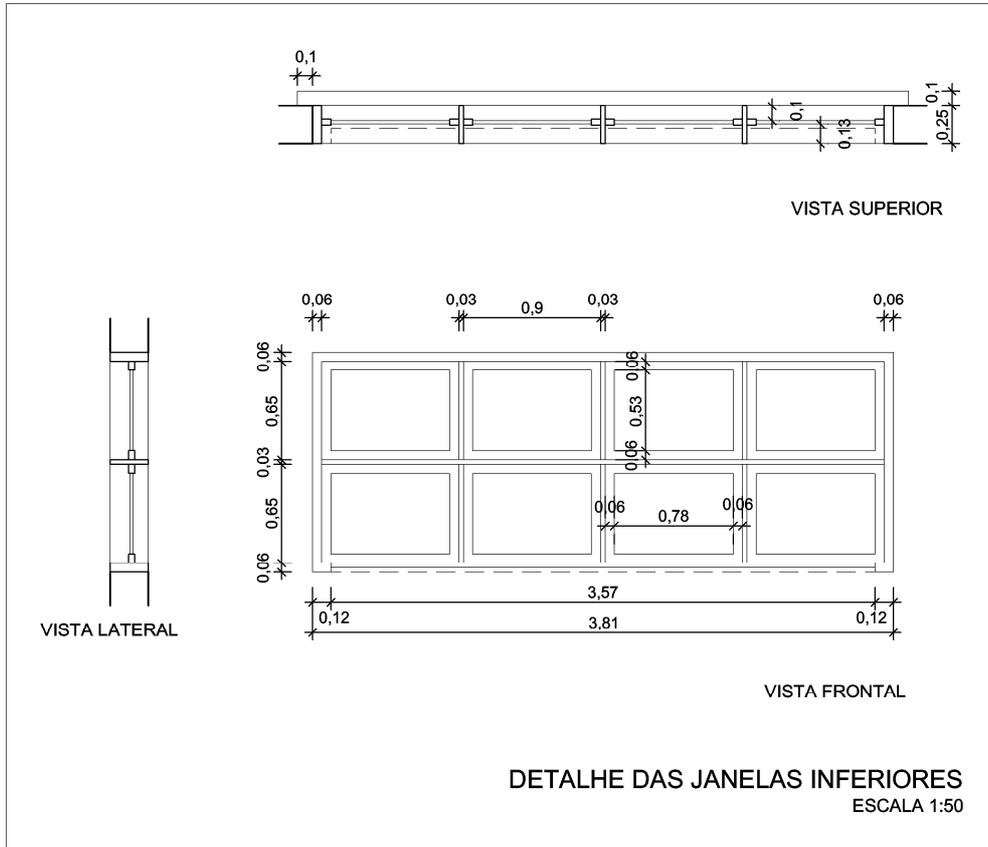
PLANTA BAIXA NÍVEL DA PRATELEIRA DE LUZ
 ESCALA 1:75



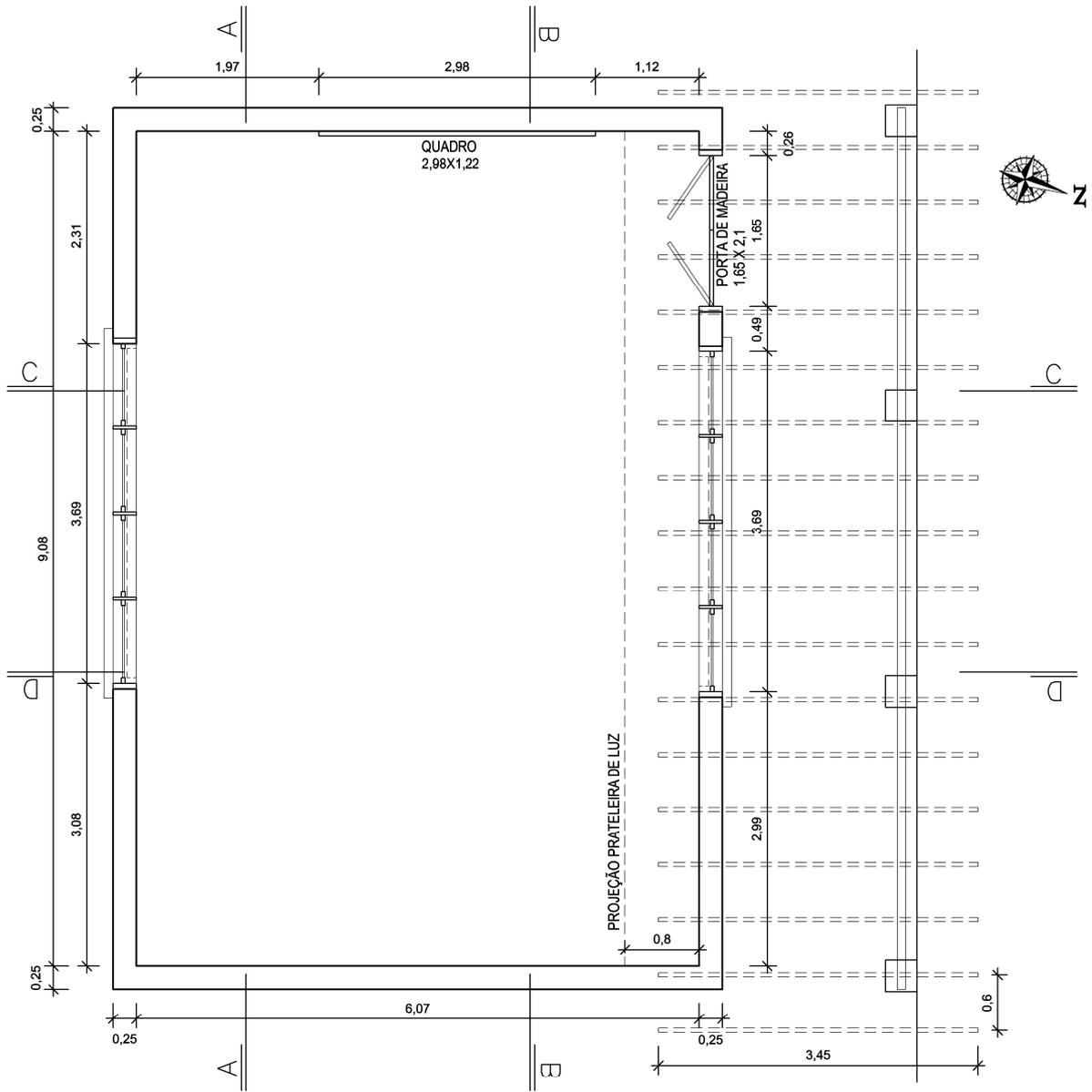
CORTE CC
ESCALA 1:75



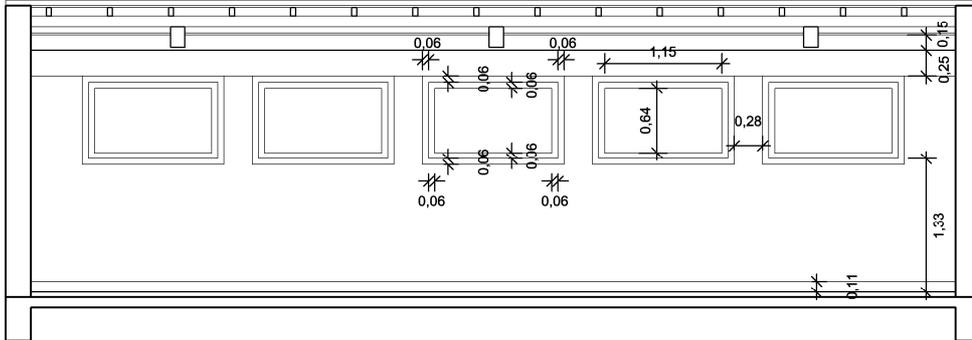
CORTE DD
ESCALA 1:75



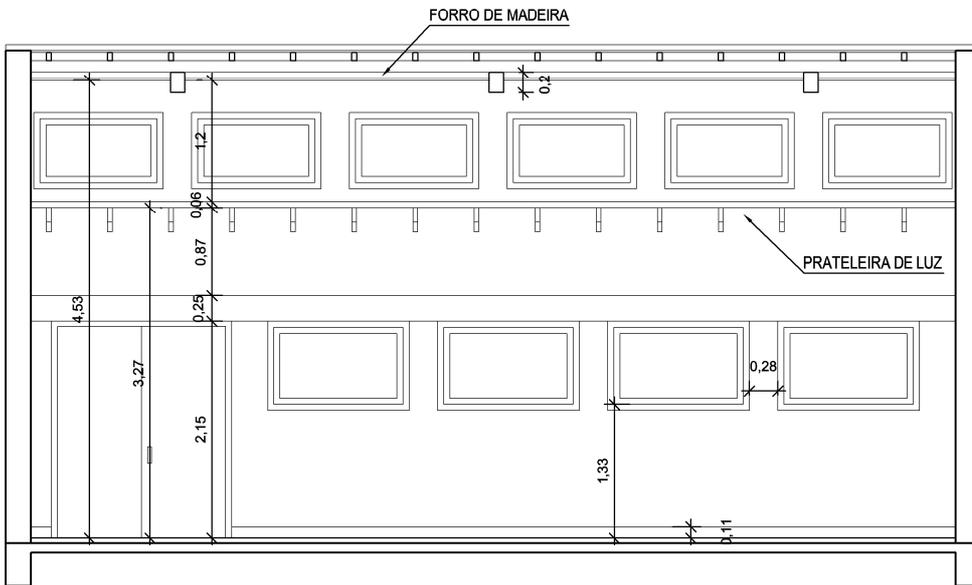
**ANEXO D – Planta baixa, cortes e detalhes arquitetônicos da sala proposta
utilizados para modelagem computacional no *software* Ecotect**



PLANTA BAIXA NÍVEL DO PISO
 ESCALA 1:75



CORTE AA
ESCALA 1:75



CORTE BB
ESCALA 1:75

