UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ANÁLISE DA DISPONIBILIDADE DE ILUMINAÇÃO NATURAL E ARTIFICIAL EM SALAS DE AULA DE INSTITUIÇÃO PÚBLICA DE ENSINO SUPERIOR

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Raquel Brandão Mansilha

Santa Maria, RS, Brasil.

2013

ANÁLISE DA DISPONIBILIDADE DE ILUMINAÇÃO NATURAL E ARTIFICIAL EM SALAS DE AULA DE INSTITUIÇÃO PÚBLICA DE ENSINO SUPERIOR

Raquel Brandão Mansilha

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Construção Civil e Preservação Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM,RS), como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof[a]. Dr[a]. Giane de Campos Grigoletti

Santa Maria, RS, Brasil.

2013

Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

ANÁLISE DA DISPONIBILIDADE DE ILUMINAÇÃO NATURAL E ARTIFICIAL EM SALAS DE AULA DE INSTITUIÇÃO PÚBLICA DE ENSINO SUPERIOR

elaborada por
Raquel Brandão Mansilha

Como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Civil

COMISSÃO EXAMINADORA:

_____
Prof[a]. Giane de Campos Grigoletti, Dr[a].
(Presidente/Orientadora)

_____
Prof. Celina Maria Britto Correa, Dr[a]. (UFPEL)

_____
Prof. Joaquim Cesar Pizzutti dos Santos, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 20 de junho de 2013.

Dedico este trabalho a todos que de alguma forma estiveram presentes em minha vida durante sua realização, me ajudando e apoiando de alguma maneira, em especial minha orientadora Giane, meus pais, Edison e Venina e meu namorado Juliano.

AGRADECIMENTOS

A minha orientadora Drª. Giane de Campos Grigoletti, pela confiança em mim depositada e por todo apoio e dedicação na orientação deste trabalho.

A instituição Universidade Federal de Santa Maria, pela oportunidade de desenvolver esta dissertação e receber o grau de Mestre em Engenharia Civil.

A CAPES, pela bolsa de mestrado fornecida no período de setembro de 2011 a fevereiro de 2013.

A FIPE pela bolsa de iniciação científica.

Ao CNPq, por contribuir com os aparelhos, sem os quais não seriam possíveis as medições.

Ao Departamento de Arquitetura e Urbanismo que colaborou com as baterias para os aparelhos que possibilitaram as medições.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, seus professores e as secretárias Daisy e Marília, por todo auxílio prestado.

Aos professores Joaquim Cesar Pizzutti dos Santos e Celina Maria Britto Correa, por aceitarem compor a banca examinadora.

Aos professores Miguel Neves Camargo e Felix Farret, por terem me encaminhado no início desta jornada.

A meus pais e irmãos, por serem meus exemplos de esforço, dedicação e estudo e por sempre acreditarem e confiarem em mim, me apoiando e incentivando com muito amor e carinho. Amo vocês!

Ao meu amor Juliano, por ter acreditado em mim e dado todo apoio e auxílio, que precisei, durante a realização deste trabalho, sempre com muito amor, carinho e compreensão.

As acadêmicas do curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo da UFSM, Marina Simon, Taís Tier Finamor e Renata Serafin de Albernard, pelas contribuições e auxílios prestados em vários momentos deste trabalho, em especial a Marina e a Taís, pelo auxílio imprescindível nos levantamentos das salas de aula e na realização das medições.

A todos os amigos que estiveram presentes em minha vida durante a realização deste trabalho, por entenderem a minha ausência em muitos momentos e

seguirem sempre me dando apoio, em especial às arquitetas Fernanda Cordero e Tatiane Moro.

Por fim, a todos que de alguma maneira, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

A todos, meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Universidade Federal de Santa Maria

ANÁLISE DA DISPONIBILIDADE DE ILUMINAÇÃO NATURAL E ARTIFICIAL EM SALAS DE AULA DE INSTITUIÇÃO PÚBLICA DE ENSINO SUPERIOR

AUTORA: RAQUEL BRANDÃO MANSILHA
ORIENTADORA: GIANE DE CAMPOS GRIGOLETTI
Data e Local da Defesa: Santa Maria, 20 de junho de 2013.

As salas de aula, por serem ambientes de maior permanência dos alunos, devem possuir condições de conforto térmico, visual e acústico adequadas. O conforto visual pode ser obtido com a iluminação natural ou com auxilio da artificial quando a natural não é suficiente. Quando se utiliza a iluminação artificial, existe a preocupação com o consumo energético da edificação. Segundo estudos realizados por Klüsener (2009), que aplicou o Regulamento Técnico da Qualidade para Etiquetagem do Nível de Eficiência Energética de Edifícios (RTQ-C) em uma edificação do campus da UFSM em Camobi, o sistema de iluminação é de baixa eficiência energética, tendo atingido o nível E. No entanto, segundo o mesmo estudo, existe um potencial para a melhoria da eficiência energética a partir de ações simples. Partindo-se do pressuposto que as outras edificações da universidade possuem um desempenho semelhante, percebe-se a importância de adequar os seus sistemas de iluminação a fim de reduzir o consumo de energia. Esse trabalho tem como objetivo apontar diretrizes que visem o conforto visual no que diz respeito aos níveis de iluminância disponíveis e sua distribuição no ambiente, bem como à eficiência energética de sistemas de iluminação de salas de aula. Para isso, foram selecionadas salas de aula que fossem representativas do universo existente no campus. Após, foram feitos os levantamentos de suas características físicas (dimensões, cores das superfícies, tipos de aberturas, orientação solar, tipos de proteções solares, presença de obstruções externas, tipos e distribuição de luminárias e lâmpadas) e foram realizadas medições *in loco* com luxímetros digitais da marca Instrutherm, modelo LDR 225 e segundo recomendações da NBR 15215 (ABNT, 2005d). Também foi feita uma análise parcial segundo os Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) e uma análise comparativa entre os níveis de iluminância medidos e os coeficientes de contribuição de iluminação natural (CIN) estimados. Com os resultados obtidos, verificou-se que a distribuição da iluminação natural é afetada por condições do entorno que causam obstruções do céu visível, não sendo consideradas no projeto das aberturas. Nas medições com iluminação natural mais artificial, os níveis são excessivos e mal distribuídos, causando consumo desnecessário de energia. As proteções solares presentes nas orientações a norte desconsideram as condições do entorno. A avaliação parcial através da aplicação dos requisitos específicos do RTQ-C para os sistemas de iluminação resultou em nível E para as salas do CE e em nível C para as outras. Os CIN calculados em grande parte do tempo não corresponderam aos valores teóricos esperados para salas de aula, conforme literatura.

Palavras-chave: Conforto visual. Eficiência energética. Sistemas de iluminação. Salas de aula.

ABSTRACT

Master Dissertation
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Universidade Federal de Santa Maria

ANALYSIS OF AVAILABILITY OF NATURAL AND ARTIFICIAL LIGHTING IN CLASSROOMS IN PUBLIC INSTITUTION OF HIGHER EDUCATION

AUTHOR: RAQUEL BRANDÃO MANSILHA
ADVISER: GIANE DE CAMPOS GRIGOLETTI
Date and Place of Pleading: Santa Maria, June 20, 2013.

The classrooms are the more permanent environments at schools; therefore their thermal, visual and acoustic characteristics must be carefully considered. Visual comfort can be achieved only with daylighting; artificial lighting is necessary when the daylighting is insufficient. The artificial lighting is responsible for high energy consumption in buildings. According to Klüsener (2009), who analysed a building of UFSM in accordance with Brazilian energy efficiency standards (RTQ-C), the artificial lighting systems reached the level E (on a A-E scale). In general, simple actions could be improving the energy efficiency of the building lighting system. Considering that the university buildings have a similar performance, the adaptation of lighting systems is important for low-energy consumption. This study aims to define classrooms guidelines for visual comfort in accordance with illuminance levels available and their distribution on the work surface where tasks are performed, as well as the energy efficiency of the classrooms lighting systems. The classrooms were selected to represent the existing universe buildings. The classrooms were characterized with regard to dimensions, surface light reflections, opening systems, solar orientation, sun shading systems, external obstructions and artificial electrical lighting systems. The illuminance levels were measured in two classrooms simultaneously with Instrutherm luximeters, model LDR 225. The measurements were in accordance with the Brazilian standards (NBR 15215) and were carried out at six points on an orthogonal grid. A comparative analysis was made for the classrooms that were simultaneously measured. Additionally the partial RTQ-C lighting criteria were applied on the classrooms lighting systems and the theoretical external illuminance levels were calculated in order to generate the daylight factor (DF). The results pointed that the internal daylight distribution is affected by external obstructions that reduce the portion of visible sky and these are not considered in the windows design. For simultaneous daylighting and artificial lighting, the illuminance levels are excessive and poorly distributed; consequently they cause high energy consumption. The existence of unnecessary sun shading systems, for southern solar orientations and for windows with complete sky obstructions, contributes for the insufficient classrooms illuminance levels. The RTQ-C criteria analysis point levels E and C for the classrooms. In general, the DF do not correspond to expected values indicated by international recommendations.

Keywords: Visual comfort. Energy efficiency. Lighting systems. Classrooms.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Espectro eletromagnético (comprimento de onda em nanômetros) 29
Figura 2.2 - Curvas de iluminância de um ambiente com abertura unilateral 34
Figura 2.3 - Eficiência energética de alguns tipos de lâmpadas (lm/W) 43
Figura 2.4 - Transferidor de ângulos 50
Figura 2.5 - Planta esquemática do ambiente mostrando os três pontos de referência interna, com seus respectivos ângulos de visão da abertura 51
Figura 2.6 - Máscara de obstrução resultante dos três pontos em estudo 51
Figura 3.1 - Luxímetro, modelo LDR 225, da marca Instrutherm 67
Figura 3.2 - Imagem dos luxímetros sobre os diferentes tipos de classe 68
Figura 3.3 - Disposição dos luxímetros nas salas de aula.....68
Figura 3.4 - Exemplo de céu claro e de céu encoberto 72
Figura 4.1 - Localização das edificações selecionadas e carta solar de Santa Maria 81
Figura 4.2 - Planta baixa de parte do bloco do CT e do anexo A do CT mostrando as salas de aula selecionadas 82
Figura 4.3 - Planta baixa e corte esquemáticos da sala de aula 251 do anexo A do CT 83
Figura 4.4 - Planta baixa e corte esquemáticos da sala de aula 252 do anexo A do CT 83
Figura 4.5 - Imagens da sala de aula 251 do anexo A do CT 84
Figura 4.6 - Imagens da sala de aula 252 do anexo A do CT 84
Figura 4.7 - Imagens, respectivamente, da face externa da sala 251 e da obstrução em frente às aberturas 86
Figura 4.8 - Imagens, respectivamente, da face externa da sala 252 e do estacionamento em frente às aberturas 86
Figura 4.9 - Planta baixa e corte esquemáticos, mostrando a distância e a altura da edificação em frente à sala 251 86
Figura 4.10 - Máscara de obstrução de cada ponto onde foram realizadas as medições da sala 251 87
Figura 4.11 - Máscara de obstrução de cada ponto onde foram realizadas as medições da sala 252 87
Figura 4.12 - Fotografias do céu obtidas ao longo dos dias 12/05/12 e 13/05/12 88
Figura 4.13 - Posição das luminárias e situação das lâmpadas nas salas 251 e 252 do anexo A do CT 90
Figura 4.14 - Gráficos dos níveis de iluminância das salas de aula 251 e 252 do anexo A do CT, quando medida apenas a iluminação natural 91
Figura 4.15 - Gráfico dos níveis de iluminância da sala de aula 251 do anexo A do CT, quando medida apenas a iluminação natural 92
Figura 4.16 - Gráficos dos níveis de iluminância das salas de aula 251 e 252 do anexo A do CT, quando medida a iluminação natural mais artificial 93
Figura 4.17 - Fotografias do céu obtidas ao longo dos dias 23/06/12 e 24/06/12 94
Figura 4.18 - Posição das luminárias e situação das lâmpadas nas salas 251 e 252 do anexo A do CT 96
Figura 4.19 - Gráficos dos níveis de iluminância das salas de aula 251 e 252 do anexo A do CT quando medida apenas a iluminação natural 97

Figura 4.20 - Gráficos dos níveis de iluminância das salas de aula 251 e 252 do anexo A do CT, quando medida a iluminação natural mais artificial.... 98
Figura 4.21 - Planta baixa esquemática do bloco do CCSH mostrando as salas de aula selecionadas 99
Figura 4.22 - Planta de cobertura esquemática do CCSH e das duas edificações mais próximas à ele 100
Figura 4.23 - Planta baixa e corte esquemáticos da sala de aula 2265 do CCSH.. 100
Figura 4.24 - Planta baixa e corte esquemáticos da sala de aula 2264 do CCSH.. 101
Figura 4.25 - Imagens da sala de aula 2265 do CCSH..... 101
Figura 4.26 - Imagens da sala de aula 2264 do CCSH 102
Figura 4.27 - Imagens, respectivamente, da face externa da sala 2265 e da obstrução em frente às aberturas 103
Figura 4.28 - Imagens, respectivamente, da face externa da sala 2264 e do ambiente externo em frente às aberturas..... 103
Figura 4.29 - Planta de cobertura e corte esquemático, mostrando a distância e a altura das edificações que obstruem as aberturas da sala 2265..... 104
Figura 4.30 - Máscara de obstrução de cada ponto onde foram realizadas as medições da sala 2265 104
Figura 4.31 - Máscara de obstrução de cada ponto onde foram realizadas as medições da sala 2264 105
Figura 4.32 - Fotografias do céu obtidas ao longo dos dias 31/03/12 e 01/04/12... 106
Figura 4.33 - Posição das luminárias e situação das lâmpadas nas salas 2265 e 2264 do CCSH..... 108
Figura 4.34 - Gráficos dos níveis de iluminância das salas de aula 2265 e 2264 do CCSH, quando medida apenas a iluminação natural 108
Figura 4.35 - Gráficos dos níveis de iluminância das salas de aula 2265 e 2264 do CCSH, quando medida a iluminação natural mais artificial 110
Figura 4.36 - Fotografias do céu obtidas ao longo dos dias 07/04/12 e 08/04/12... 111
Figura 4.37 - Posição das luminárias e situação das lâmpadas nas salas 2265 e 2264 do CCSH..... 113
Figura 4.38 - Gráficos dos níveis de iluminância das salas de aula 2265 e 2264 do CCSH, quando medida apenas a iluminação natural 114
Figura 4.39 - Gráficos dos níveis de iluminância das salas de aula 2265 e 2264 do CCSH, quando medida a iluminação natural mais artificial 115
Figura 4.40 - Fotografias do céu obtidas ao longo dos dias 17/07/12 e 04/08/12... 116
Figura 4.41 - Posição das luminárias e situação das lâmpadas nas salas 2265 e 2264 do CCSH..... 119
Figura 4.42 - Gráficos dos níveis de iluminância das salas de aula 2265 e 2264 do CCSH, quando medida a apenas a iluminação natural 119
Figura 4.43 - Gráficos dos níveis de iluminância das salas de aula 2265 e 2264 do CCSH, quando medida a iluminação natural mais artificial 120
Figura 4.44 - Planta baixa esquemática do bloco do CE mostrando as salas de aula selecionadas..... 122
Figura 4.45 - Planta baixa e corte esquemáticos da sala de aula 3208 do CE..... 123
Figura 4.46 - Planta baixa e corte esquemáticos da sala de aula 3270 do CE..... 123
Figura 4.47 - Imagens da sala de aula 3208 do CE..... 124
Figura 4.48 - Imagens da sala de aula 3270 do CE..... 124
Figura 4.49 - Imagens, respectivamente, da face externa da sala 3208 e da obstrução em frente às aberturas 126

Figura 4.50 - Imagens, respectivamente, da face externa da sala 3270 e da obstrução em frente às aberturas 126
Figura 4.51 - Planta baixa e corte esquemáticos, mostrando a distância e a altura da edificação em frente à sala 3208 127
Figura 4.52 - Planta baixa e corte esquemáticos, mostrando a distância e a altura da edificação em frente à sala 3270 127
Figura 4.53 - Máscara de obstrução de cada ponto onde foram realizadas as medições da sala 3208 128
Figura 4.54 - Máscara de obstrução de cada ponto onde foram realizadas as medições da sala 3270 128
Figura 4.55 - Fotografias do céu obtidas ao longo dos dias 01/09/12 e 02/09/12 ...129
Figura 4.56 - Posição das luminárias e situação das lâmpadas nas salas 3208 e 3270 do CE. 131
Figura 4.57 - Gráficos dos níveis de iluminância das salas de aulas 3208 e 3270 do CE, quando medida apenas a iluminação natural 132
Figura 4.58 - Gráficos dos níveis de iluminância das salas de aula 3208 e 3270 do CE, quando medida a iluminação natural mais artificial 133
Figura 4.59 - Fotografias do céu obtidas ao longo dos dias 08/09/12 e 09/09/12 ...134
Figura 4.60 - Posição das luminárias e situação das lâmpadas nas salas 3208 e 3270 do CE. 136
Figura 4.61 - Gráficos dos níveis de iluminância das salas de aula 3208 e 3270 do CE, quando medida apenas a iluminação natural 136
Figura 4.62 - Gráficos dos níveis de iluminância das salas de aula 3208 e 3270 do CE, quando medida a iluminação natural mais artificial. 137
Figura 4.63 - Planta baixa e corte esquemáticos da sala de aula 3209 do CE 139
Figura 4.64 - Planta baixa e corte esquemáticos da sala de aula 3270 do CE 139
Figura 4.65 - Imagens da sala de aula 3209 do CE 140
Figura 4.66 - Imagens da sala de aula 3270 do CE 140
Figura 4.67 - Imagens, respectivamente, da face externa da sala 3209 e do ambiente externo, em frente às aberturas 142
Figura 4.68 - Imagens, respectivamente, da face externa da sala 3270 e da obstrução em frente às aberturas 142
Figura 4.69 - Planta baixa e corte esquemáticos, mostrando a distância e a altura da edificação em frente à sala 3270 142
Figura 4.70 - Máscara de obstrução de cada ponto onde foram realizadas as medições da sala 3209 143
Figura 4.71 - Máscara de obstrução de cada ponto onde foram realizadas as medições da sala 3270 143
Figura 4.81 - Fotografias do céu obtidas ao longo dos dias 17/03/12 e 18/03/12 ...144
Figura 4.73 - Posição das luminárias e situação das lâmpadas nas salas 3270 e 3209 do CE 146
Figura 4.74 - Gráficos dos níveis de iluminância da salas de aula 3209 e 3270 do CE, quando medida apenas a iluminação natural 146
Figura 4.75 - Gráficos dos níveis de iluminância das salas de aula 3209 e 3270 do CE, quando medida iluminação natural mais artificial 147
Figura 4.76 - Planta baixa e corte esquemáticos da sala de aula 3208 do CE 149
Figura 4.77 - Planta baixa e corte esquemáticos da sala de aula 3269 do CE 149
Figura 4.78 - Imagens da sala de aula 3208 do CE 150
Figura 4.79 - Imagens da sala de aula 3269 do CE 150

Figura 4.80 - Imagens, respectivamente, da face externa da sala 3208 e da obstrução em frente às aberturas 151
Figura 4.81 - Imagens, respectivamente, da face externa da sala 3269 e do ambiente externo, em frente às aberturas 151
Figura 4.82 - Planta baixa e corte esquemáticos, mostrando a distância e a altura da edificação em frente à sala 3208 152
Figura 4.83 - Máscara de obstrução de cada ponto onde foram realizadas as medições da sala 3208 152
Figura 4.84 - Máscara de obstrução de cada ponto onde foram realizadas as medições da sala 3269 153
Figura 4.85 - Fotografias do céu obtidas ao longo dos dias 24/03/12 e 25/03/12... 154
Figura 4.86 - Posição das luminárias e situação das lâmpadas nas salas 3208 e 3269 do CE 156
Figura 4.87 - Gráficos dos níveis de iluminância das salas de aula 3208 e 3269 do CE, quando medida apenas a iluminação natural 156
Figura 4.88 - Gráficos dos níveis de iluminância das salas de aula 3208 e 3269 do CE, quando medida a iluminação natural mais artificial 157
Figura 4.89 - Fotografias do céu obtidas ao longo dos dias 28/07/12 e 29/07/12... 159
Figura 4.90 - Posição das luminárias e situação das lâmpadas nas salas 3208 e 3269 do CE 161
Figura 4.91 - Gráficos dos níveis de iluminância das salas de aula 3208 e 3269 do CE, quando medida apenas a iluminação natural 161
Figura 4.92 - Gráficos dos níveis de iluminância das salas de aula 3208 e 3269 do CE, quando medida a iluminação natural mais artificial 162

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Níveis de iluminância médios em lux para Porto Alegre sobre um plano horizontal....38
Tabela 2.2 - Índices de reflexão média das cores (refletância) 45
Tabela 2.3 - Refletâncias recomendadas para teto, paredes e piso 46
Tabela 2.4 - Limite máximo aceitável, de densidade de potência (DPI_L), em escolas e universidades pelo método da área do edifício 54
Tabela 2.5 - Relação entre pré-requisitos e níveis de eficiência 55
Tabela 3.1 - Comparativo entre as especificações dos luxímentros e as recomendações da NBR 15215-4 67
Tabela 3.2 - Valores de irradiação média diária mensal para a cidade de Santa Maria 74
Tabela 3.3 - Distribuição horária de iluminância natural dos dias em que foram realizadas as medições....75
Tabela 4.1 - Coeficientes de CIN e níveis de iluminância da sala 251....89
Tabela 4.2 - Coeficientes de CIN e níveis de iluminância da sala 252....90
Tabela 4.3 - Coeficientes de CIN e níveis de iluminância da sala 251....95
Tabela 4.4 - Coeficientes de CIN e níveis de iluminância da sala 252....95
Tabela 4.5 - Coeficientes de CIN e níveis de iluminância da sala 2265....106
Tabela 4.6 - Coeficientes de CIN e níveis de iluminância da sala 2264....107
Tabela 4.7 - Coeficientes de CIN e níveis de iluminância da sala 2265....112
Tabela 4.8 - Coeficientes de CIN e níveis de iluminância da sala 2264....112
Tabela 4.9 - Coeficientes de CIN e níveis de iluminância da sala 2265....117
Tabela 4.10 -Coeficientes de CIN e níveis de iluminância da sala 2264....118
Tabela 4.11 -Coeficientes de CIN e níveis de iluminância da sala 3208....130
Tabela 4.12 -Coeficientes de CIN e níveis de iluminância da sala 3270....130
Tabela 4.13 -Coeficientes de CIN e níveis de iluminância da sala 3208....135
Tabela 4.14 -Coeficientes de CIN e níveis de iluminância da sala 3270....135
Tabela 4.15 -Coeficientes de CIN e níveis de iluminância da sala 3209....144
Tabela 4.16 -Coeficientes de CIN e níveis de iluminância da sala 3270....145
Tabela 4.17 -Coeficientes de CIN e níveis de iluminância da sala 3208....154
Tabela 4.18 -Coeficientes de CIN e níveis de iluminância da sala 3269....155
Tabela 4.19 -Coeficientes de CIN e níveis de iluminância da sala 3208....159
Tabela 4.20 -Coeficientes de CIN e níveis de iluminância da sala 3269....160
Tabela 4.21 -Cálculo da potência limite para as salas selecionadas, pelo método da área do edifício....164

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de normas técnicas
APO – Avaliação Pós-Ocupação
CCSH – Centro de Ciências Sociais e Humanas
cd – Candela
CE – Centro de Educação
CIE – *Commission Interntionale de I'Eclairage*
CIN – Contribuição de Iluminação Natural
CT – Centro de Tecnologia
DF – *Daylight Factor*
DPI – Densidade de Potência de Iluminação
DPI_L – Densidade de Potência de Iluminação Limite
ENCE – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
EqNumDPI – Equivalente numérico do sistema de iluminação
FIOCRUZ – Fundação Oswaldo Cruz
INMETRO – Instituto de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
IRC – Índice de Reprodução da Cor
K – Índice de ambiente
K – Kelvin
LED – Diodo emissor de luz
lm – Lúmen
lx – Lux
NBR – Norma Brasileira
nm – Nanometros
NOAA – *National Oceanic and Atmospheric Administration*
PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia
RAC-C – Regulamento de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos
RCR – *Room Cavity Ratio*
RTQ-C – Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos
SI – Sistema Internacional de Unidades
SWERA – *Solar and Wind Energy Resource Assessment*
UFRN – Universidade Federal de Rio Grande do Norte
UFSM – Universidade Federal de Santa Maria
UNICAMP – Universidade de Campinas

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A - Ficha de levantamento da sala 251 do anexo A do CT 179
Apêndice B - Ficha de levantamento da sala 252 do anexo A do CT 180
Apêndice C - Ficha de levantamento da sala 2265 do CCSH.....181
Apêndice D - Ficha de levantamento da sala 2264 do CCSH.....182
Apêndice E - Ficha de levantamento da sala 3208 do CE 183
Apêndice F - Ficha de levantamento da sala 3209 do CE 184
Apêndice G- Ficha de levantamento da sala 3269 do CE.....185
Apêndice H- Ficha de levantamento da sala 3270 do CE.....186

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 25
1.1 Objetivos 27
1.1.1 Objetivo geral 27
1.1.2 Objetivos específicos 27
1.2 Estrutura do trabalho 28
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 29
2.1 Iluminação natural e artificial 29
2.2 Grandezas relacionadas à iluminação natural e artificial 30
2.3 Sistemas de iluminação 32
2.3.1 Sistema de iluminação natural 33
2.3.1.1 Aberturas Laterais 33
2.3.1.2 Aberturas Zenitais 34
2.3.1.3 Elementos de controle 35
2.3.1.4 Prateleiras de luz 36
2.3.1.5 Tipos de vidros e películas 36
2.3.2 Características da iluminação natural 37
2.3.2.1 Variabilidade da luz natural 37
2.3.2.2 Qualidade da luz natural 38
2.3.2.3 Eficácia luminosa 39
2.3.2.4 Comunicação visual com o meio externo 40
2.3.2.5 Redução do consumo de energia elétrica 40
2.3.3 Sistema de iluminação artificial 41
2.3.4 Características do sistema de iluminação artificial 41
2.3.4.1 Lâmpadas 41
2.3.4.2 Luminárias 43
2.4 Conforto visual 44
2.5 Eficiência energética de sistemas de iluminação 46
2.6 Determinação da distribuição horária de iluminância natural disponível em função da irradiância solar global 47
2.7 Normas e regulamentos nacionais voltados à iluminação 48
2.7.1 NBR 15215 48
2.7.2 NBR 5413 52
2.7.3 RTQ-C e RAC-C 52
2.7.3.1 Requisitos específicos para o sistema de iluminação 53
2.8 Estudos analíticos em iluminação natural e artificial 55
2.8.1 Estudos relativos à iluminação de salas de aula 55
2.8.2 Estudo relativo à iluminação realizado através de medições *in loco* 60
2.8.3 Estudos relativos à iluminação e à eficiência energética 60
3 METODOLOGIA 63
3.1 Parâmetros para análise 63
3.2 Seleção das edificações e suas respectivas salas de aula 64
3.3 Levantamento das características físicas das salas de aula 64
3.4 Medições *in loco* 66
3.4.1 Descrição dos equipamentos utilizados 66
3.4.2 Descrição da realização das medições 68
3.4.3 Período de realização das medições 70
3.4.4 Condição de céu durante as medições 72

3.5 Determinação da distribuição horária de iluminância natural a partir da irradiância solar global 74
3.6 Tratamento e análise dos dados 75
3.7 Aplicação do RTQ-C 77
3.8 Limitações da pesquisa 78
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 81
4.1 Descrição e caracterização das edificações em estudo 81
4.2 Resultados das salas de aula do anexo A do CT 82
4.2.1 Descrição e caracterização das salas de aula do anexo A do CT 82
4.2.1.1 Salas de aula 251 e 252 83
4.2.2 Medições das salas 251 e 252 do anexo A do CT 88
4.2.2.1 Resultados dos dias 12/05/12 e 13/05/12 88
4.2.2.2 Resultados dos dias 23/06/12 e 24/06/12 94
4.3 Resultados das salas de aula do CCSH 99
4.3.1 Descrição e caracterização das salas de aula do CCSH 99
4.3.1.1 Sala de aula 2265 e 2264 100
4.3.2 Medições das salas 2265 e 2264 do CCSH 105
4.3.2.1 Resultados dos dias 31/03/12 e 01/04/12 105
4.3.2.2 Resultados dos dias 07/04/12 e 08/04/12 111
4.3.2.3 Resultados dos dias 17/07/12 e 04/08/12 116
4.4 Resultados das salas de aula do CE 122
4.4.1 Descrição e caracterização das salas de aula do CE 122
4.4.1.1 Salas de aula 3208 e 3270 123
4.4.2 Medições das salas 3208 e 3270 do CE 129
4.4.2.1 Resultados dos dias 01/09/12 e 02/09/12 129
4.4.2.2 Resultados dos dias 08/09/12 e 09/09/12 134
4.4.2.3 Salas de aula 3209 e 3270 139
4.4.3 Medições das salas 3209 e 3270 do CE 144
4.4.3.1 Salas de aula 3208 e 3269 148
4.4.4 Medições das salas 3208 e 3269 do CE 153
4.4.4.1 Resultados dos dias 24/03/12 e 25/03/12 153
4.4.4.2 Resultados dos dias 28/07/12 e 29/07/12 158
4.5 Aplicação do RTQ-C 163
5 CONCLUSÕES 167
5.1 Quanto à disponibilidade de iluminação natural, natural mais artificial e distribuição dos níveis de iluminância 167
5.2 Quanto às orientações solares norte e sul e à presença de obstrução externa 169
5.3 Verificação dos requisitos específicos do RTQ-C para o sistema de iluminação 170
5.4 Verificação dos coeficientes de CIN 170
5.5 Diretrizes para melhoria das condições de iluminação natural e natural mais artificial das salas de aula na região sul do Brasil 171
5.6 Sugestões para trabalhos futuros 172
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 173
APÊNDICES 179

1 INTRODUÇÃO

As salas de aula são os ambientes de maior permanência dos estudantes dentro das escolas e universidades, nelas se desenvolvem atividades de escrita e leitura, que são essenciais para o aprendizado. Por isso devem possuir condições de conforto adequadas, principalmente o conforto visual, pois, “a iluminação inadequada pode causar desconforto e fadiga visual, dor de cabeça, ofuscamento e redução da eficiência visual [...] boa iluminação aumenta a produtividade e gera um ambiente mais prazeroso” (PEREIRA; SOUZA, 2005, p.4). O conforto visual pode ser alcançado principalmente através de iluminação natural, no período da manhã e da tarde, quando há luz natural disponível, ou com a iluminação artificial, no período da noite ou em horários em que a luz natural não é suficiente, desde que o projeto dos sistemas de iluminação contemple a captação de luz natural. Cerca de 8 horas por dia em média, para céu claro, há presença de iluminação natural que dispensa o uso de iluminação artificial no interior das edificações (MASCARÓ, 1980), considerando-se uma janela com 15% ou mais da área do piso, ambientes com paredes e teto claros (refletâncias superiores a 80%) e relação entre profundidade da sala e altura da verga de no máximo 1,5.

Quando se utiliza a iluminação artificial para suprir a necessidade de iluminação, existe a preocupação com o consumo energético, principalmente porque, segundo o Relatório de Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil (ELETROBRÁS, 2009), a iluminação, assim como a climatização e os equipamentos de escritório, estão relacionados com os principais usos finais da energia elétrica nos edifícios públicos.

Embora o setor público não seja o maior consumidor de energia elétrica, o mesmo tem apresentado um crescimento relativamente contínuo em seu consumo nas últimas duas décadas (LAMBERTS et al., 2007). Este consumo está relacionado, dentre outros fatores, ao desperdício e à baixa eficiência energética das edificações. De acordo com o Relatório de Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil (ELETROBRÁS, 2009), baseado em dados de 2005, cerca de 23% da energia consumida no setor público é com iluminação, 15% com equipamentos de escritório, 48% com ar condicionado e 14% com outros usos.

Por isso, além de utilizar a iluminação natural, é essencial que os ambientes possuam também um sistema de iluminação artificial que objetive a eficiência energética da edificação.

Desde 2001, devido à crise energética, estão surgindo medidas efetivas no âmbito das legislações para promover a eficiência energética no país (LAMBERTS, et al., 2007). Dentre elas está o Procel Edifica, que é voltado à Eficiência Energética das Edificações e ao Conforto Ambiental e, através do Plano de Ação para Eficiência Energética em Edificações, estabelece, em uma de suas vertentes de ação, parâmetros para verificação do nível de eficiência energética das edificações (BRASIL, 2009).

Nessa vertente, em fevereiro de 2009, como parte do programa brasileiro de etiquetagem do INMETRO, foi publicado no Brasil, o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) (BRASIL, 2010), que, segundo Carlo e Lamberts (2010), estabelece parâmetros para definição do nível de eficiência energética de um edifício para fornecer posteriormente a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), que classifica a eficiência energética dos edifícios utilizando uma classificação similar à existente para aparelhos eletrodomésticos, dividindo-se em envoltória da edificação, sistemas de ar-condicionado e sistema de iluminação.

O RTQ-C foi aplicado na edificação principal do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), por Klüsener (2009), que concluiu que o edifício enquadra-se em um nível E para os sistemas de iluminação e C para envoltória e sistemas de ar-condicionado. Partindo-se do pressuposto que as outras edificações da universidade possuem um desempenho do nível de eficiência energético, para os sistemas de iluminação, semelhante ao do Centro de Tecnologia, e que estes podem ser melhorados com a adoção de ações simples, percebe-se a importância de avaliar as condições de iluminação natural e artificial das salas de aula da UFSM, sugerindo melhorias para aumentar o desempenho da iluminação natural e artificial e a eficiência energética destes ambientes, bem como apontar diretrizes que melhorem a eficiência energética e o conforto visual de ambientes de salas de aula em geral.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Apontar diretrizes que visem o conforto visual no que diz respeito aos níveis de iluminância disponíveis e sua distribuição no ambiente, bem como à eficiência energética dos sistemas de iluminação de salas de aula da Universidade Federal de Santa Maria, campus Camobi, RS.

1.1.2 Objetivos específicos

- Avaliar comparativamente a disponibilidade de iluminação natural e artificial de salas de aula.
- Analisar a distribuição dos níveis de iluminância em salas de aula iluminadas naturalmente.
- Analisar a necessidade de iluminação artificial em salas de aula iluminadas naturalmente.
- Comparar os níveis de iluminância disponíveis em salas de aula com orientações solares norte e sul devido à iluminação natural e natural mais artificial.
- Comparar os níveis de iluminância disponíveis em salas de aula de mesma orientação solar, mas com e sem obstrução externa, devido à iluminação natural e natural mais artificial.

- Verificar se os requisitos específicos do RTQ-C para o sistema de iluminação são satisfeitos pelas salas de aula.

- Verificar se os coeficientes de contribuição de iluminação natural (CIN) correspondem aos níveis de iluminância disponíveis em salas de aula, devido à iluminação natural.

1.2 Estrutura do trabalho

Este trabalho apresenta-se dividido em cinco capítulos.

O primeiro capítulo consiste na introdução do trabalho, indicando sobre qual assunto se refere esta dissertação, com suas justificativas e objetivos.

O segundo capítulo é destinado à revisão da literatura, abordando conceitos relacionados à iluminação natural e artificial, aos sistemas de iluminação, ao conforto visual, a eficiência energética dos sistemas de iluminação e às normas e regulamentos nacionais voltados à iluminação.

O terceiro capítulo apresenta a metodologia utilizada na pesquisa para selecionar as salas de aula, fazer seus levantamentos, realizar as medições, tratar os dados, analisá-los e aplicar o RTQ-C para o sistema de iluminação.

O quarto capítulo é consiste na apresentação dos resultados com suas respectivas discussões.

O quinto e último capítulo é destinado às conclusões do trabalho e recomendações para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Iluminação natural e artificial

A luz é uma pequena porção do espectro eletromagnético percebido pelo olho humano, que se situa na faixa entre 380 nm e 780 nm (PEREIRA; SOUZA, 2005). O ser humano não só percebe a radiação dentro desta faixa, mas também é capaz de discriminar diferentes comprimentos de onda que produzem a sensação de cor. A Figura 2.1 ilustra os intervalos de comprimentos de onda que correspondem às cores básicas interpretadas pelo órgão da visão, ou seja, violeta, azul, verde, amarelo, laranja e vermelho.

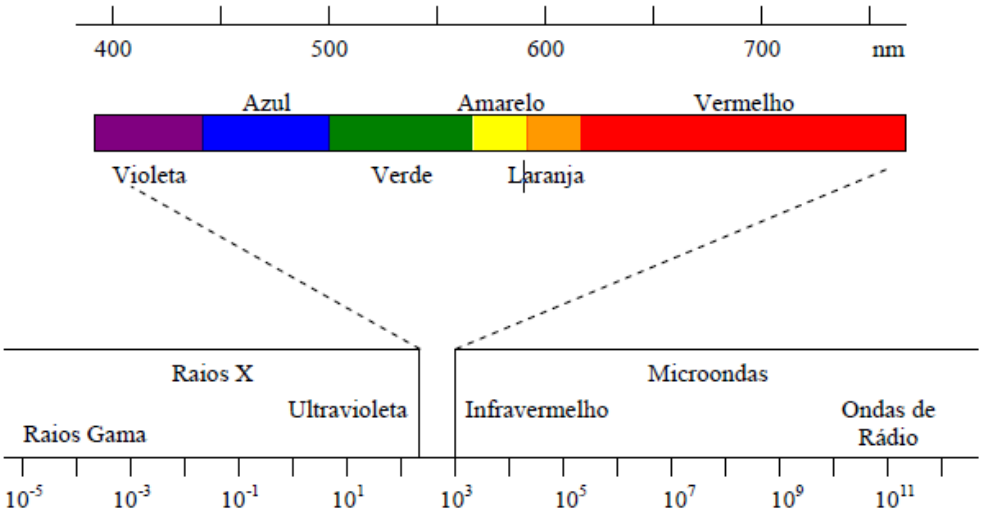


Figura 2.1 – Espectro eletromagnético (comprimento de onda em nanômetros)
Fonte: Pereira e Souza (2005, p. 8)

A iluminação natural é a luz que provém do sol. De acordo com Robbins (1986 apud TOLEDO, 2008, p. 1), ela é uma fonte luminosa de espectro completo,

por isso é usada como referência na comparação com as fontes artificiais. Também é considerada a melhor fonte de luz para a fidelidade na reprodução de cores.

Conforme Mascaró (1983 apud CABÚS, 1997, p. 8), a luz natural pode ser direta, através da incidência direta de raios solares, ou indireta, de forma difusa em função da refração e reflexão dos raios na atmosfera, com ou sem nuvens, ou de forma refletida através da vegetação, dos edifícios ou outros objetos.

A iluminação artificial é toda fonte de luz produzida pelo homem para suprir a necessidade de iluminação quando a luz natural não é suficiente. Segundo Ghisi (1997), as lâmpadas são componentes do sistema de iluminação artificial que convertem energia elétrica em luz visível e, para que esta possa ser produzida e distribuída adequadamente, é necessária a utilização, respectivamente, de reatores (dependendo da lâmpada utilizada) e de luminárias que são os componentes auxiliares do sistema de iluminação artificial.

2.2 Grandezas relacionadas à iluminação natural e artificial

Existem diversas grandezas e unidades ligadas à iluminação natural e artificial que são importantes conhecer, para melhor entender a iluminação, dentre elas estão a intensidade luminosa, o fluxo luminoso, a iluminância, a luminância, o índice de reprodução da cor (IRC), a temperatura de cor correlata e as condições de céu.

A **intensidade luminosa (I)** é definida como a luz que se propaga em uma determinada direção, dentro de um ângulo sólido. Sua unidade de medida é o lumen/esterradiano ou candela [cd] (PEREIRA; SOUZA, 2005).

O **fluxo luminoso (ϕ)** representa uma potência luminosa emitida por uma fonte luminosa, por segundo, em todas as direções, sob a forma de luz. Sua unidade é o lúmen [lm] (PROCEL, 2002, p.06).

A **Iluminância (E)** é a medida da quantidade de luz emitida por uma fonte, que incide sobre uma superfície, iluminando-a, por unidade de área. Sua unidade no sistema internacional é lm/m² ou lux [lx] (PEREIRA; SOUZA, 2005). De acordo com Neto (1980), dentre outros fatores, os níveis de iluminância de um ambiente

dependem da área a ser iluminada e da quantidade de lumens emitidos pela fonte luminosa.

A **Luminância (L)** é definida como a intensidade luminosa por unidade de área aparente de uma superfície numa dada direção e sua unidade, no SI, é cd/m² (PEREIRA; SOUZA, 2005, p. 16). De acordo com Pereira e Souza (2005) a luminância pode ser considerada como a medida física do brilho de algum objeto que transmite a sensação de claridade aos olhos e permite que os seres humanos enxerguem.

> Luminância liga-se com contrastes, pois a leitura de uma página escrita em letras pretas (refletância 10%) sobre um fundo branco (papel, refletância 85%) revela que a luminância das letras é menor do que a luminância do fundo e, assim a leitura "cansa menos os olhos". (COSTA, 2006, p. 231)

O **índice de reprodução da cor (IRC)** é um indicador utilizado para medir a correspondência entre a cor de um objeto quando colocado sob uma fonte luminosa e uma fonte luminosa de referência, seu valor pode variar de 0 a 100%. Quanto mais próximo de 100% for o IRC de uma fonte artificial, maior será sua fidelidade em reproduzir as cores, tal qual o sol (TOLEDO, 2008).

A **temperatura de cor correlata** é uma grandeza física que associa a aparência de cor da luz a uma temperatura de corpo negro que emite um comprimento de onda equivalente à aparência de luz da fonte quando está a uma determinada temperatura. Esta temperatura é chamada de temperatura de cor correlata (SZOKOLAY, 1980, p.83). Medida numa escala de graus Kelvin (K), a tonalidade da luz produzida por uma fonte pode ser percebida como mais amarelada ou de um branco mais puro, assim como ocorre com a cor da luz do sol (TOLEDO, 2008, p. 24).

Segundo PROCEL (2002), quanto mais branca for a cor da luz, mais alta será sua temperatura de cor, por isso, a luz quente tem temperatura de cor baixa (3000 K ou menos) e cor amarelada, enquanto que a luz fria possui temperatura elevada (6000 K ou mais) e cor azul-violeta.

A **condição de céu** é definida pela NBR 15215 como "a aparência da abóbada celeste quando vista por um observador situado na superfície terrestre, que está relacionada à distribuição espacial da sua emissão de luz" (ABNT, 2005b, p. 02).

Devido a variabilidade das condições de céu e a grande quantidade de modelos para caracterizar suas diferentes condições, a CIE (*Commission Interntionale de I'Eclairage*) adota dois modelos de céu, o céu claro e o encoberto (KREMER, 2002 apud ROBBINS, 1986).

No Brasil, a NBR 15215 caracteriza as condições do céu, utilizando o método da cobertura do céu preconizado pela *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA, EUA), no qual as condições de céu claro, céu parcialmente encoberto ou encoberto é dado pela porcentagem de nuvens no céu (ABNT, 2005b):

- Céu claro: 0% a 35%
- Céu parcialmente encoberto: 35% a 75%
- Céu encoberto: 75% a 100%

O céu claro caracteriza-se por apresentar coloração azul, pois as reduzidas partículas de água, devido à baixa nebulosidade e a inexistência de nuvens, fazem com que apenas os baixos comprimentos de onda (porção azul do espectro), consigam atingir a superfície terrestre. O céu encoberto caracteriza-se por apresentar nuvens preenchendo toda sua superfície, ele apresenta uma coloração acinzentada devido à reflexão e refração de todos os comprimentos de onda em todas as direções, da luz direta do sol, em grandes partículas de água que se encontram em suspensão na atmosfera. O céu parcialmente encoberto é uma condição intermediária entre o céu claro e o encoberto, onde a luminância de um elemento é definida pelo posicionamento do sol no céu (ABNT, 2005b).

2.3 Sistemas de iluminação

O sistema de iluminação pode ser dividido em natural e artificial com o objetivo de fornecer luz para prática de tarefas visuais, proporcionando um ambiente visual adequado aos ocupantes dos postos de trabalho (GHISI, 1997).

Os sistemas de iluminação, tanto natural como artificial, possuem diversas características que podem ser utilizadas para atingir a eficiência energética e o

conforto visual dos usuários e que devem por isso ser analisadas e compreendidas para que sejam utilizadas da melhor maneira possível.

2.3.1 Sistema de iluminação natural

Segundo Kremer (2002, p. 14), “os sistemas de iluminação natural, possuem a função de permitir que a luz natural externa chegue até o ambiente interno.” Sistemas de iluminação natural são compostos pelas aberturas e seus complementos formados por dispositivos de sombreamento internos e externos, caixilhos, vidros, com suas cores e texturas, e pelas superfícies internas do ambiente, caracterizadas por cores e texturas que facilitarão ou não a distribuição da luz natural, evitando ou não ofuscamentos indesejáveis e distribuindo de forma igual ou desigual a luz no ambiente (KREMER, 2002).

Robbins (1986 apud KREMER, 2002, p.14) coloca que o objetivo principal de um sistema de iluminação natural é providenciar quantidade suficiente de luz onde ela é necessária no interior da edificação, garantindo desempenho visual e conforto visual dos usuários.

2.3.1.1 Aberturas Laterais

A iluminação lateral é definida como a “porção da luz natural produzida pela luz que entra lateralmente nos espaços internos” (ABNT, 2005a p.2).

As aberturas laterais são a forma mais tradicional e comum de iluminação natural, pois podem proporcionar simultaneamente iluminação, ventilação e visão do exterior (KREMER, 2002).

De acordo do com Vianna e Gonçalves (2002 apud CORREIA, 2008, p.47)**,** a orientação, a dimensão, a forma e o posicionamento das aberturas laterais, determinam a quantidade e a distribuição da luz natural proporcionada por elas.

A iluminação interna em um ponto reduz-se à medida que este se afasta das aberturas, fazendo com que a iluminação seja mais eficiente nas regiões próximas a

elas (CORREIA, 2008). A Figura 2.2 mostra as curvas de iluminância de um ambiente com abertura unilateral, demonstrando as diferenças de quantidade de luz, de quando se utiliza apenas a luz natural ou artificial e quando se utiliza as duas simultaneamente.

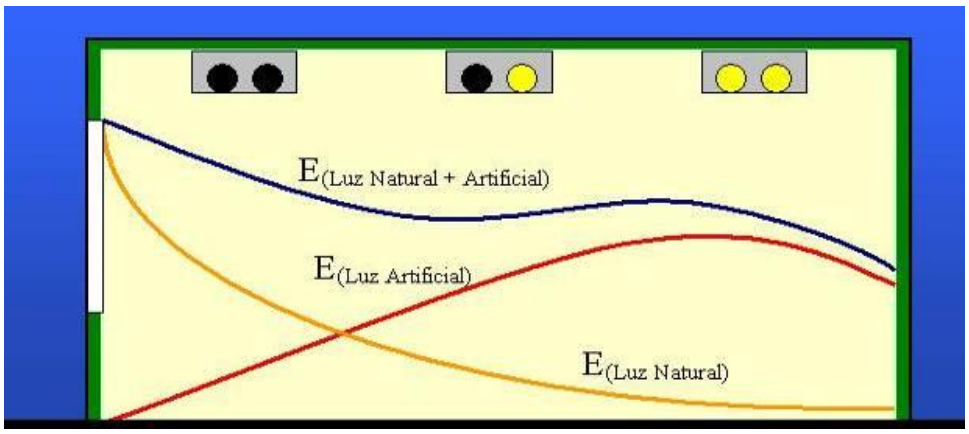


Figura 2.2 – Curvas de iluminância de um ambiente com abertura unilateral
Fonte: Pereira (2011, p.117)

> A quantidade de luz natural disponível em um ambiente está diretamente relacionada com o tamanho da abertura. Porém, o aumento da área das janelas tem limites de eficiência luminosa, mas não térmica. Deve-se utilizar apenas as superfícies iluminantes necessárias e devidamente protegidas da radiação solar direta. Tanto a luminância excessiva proveniente da abóbada celeste e do Sol, quanto o calor por estes emitidos devem ser controlados através do uso de fatores de sombra e redirecionamento da luz. (CORREIA, 2008, p.48)

2.3.1.2 Aberturas Zenitais

A iluminação zenital é definida como a “porção de luz natural produzida pela luz que entra através dos fechamentos superiores dos espaços internos” (ABNT, 2005a, p.3).

As aberturas zenitais permitem uma distribuição da luz natural mais uniforme em relação à lateral, possibilitando maiores níveis de iluminância sobre o plano de trabalho (GARROCHO, 2005).

> A combinação da janela com a abertura zenital pode controlar a quantidade e melhorar a distribuição de luz natural no espaço. Os sistemas para a luz natural que utilizam a luz do zênite e do céu de maneira eficiente, a guia com mais profundidade e uniformidade para o interior dos ambientes. Podem ter o mesmo efeito de proteção solar que normalmente se consegue com os dispositivos de sombreamento externo, reduzindo as temperaturas internas devido à diminuição da carga térmica. Além disso, estes sistemas podem reduzir os custos de energia para a luz artificial e possibilitam maior liberdade de disposição nos locais de trabalho. (DIDONÉ, 2005, p.39)

De acordo com Kremer (2002), as aberturas zenitais apresentam como principais desvantagens a impossibilidade de proporcionar visão externa, apesar de permitir visão do céu, e a dificuldade de utilização em edifícios com mais de dois pavimentos. Além disso, segundo Correia (2008), esse tipo de abertura apresenta um custo inicial mais alto e maiores dificuldades para limpeza. Para Cabús (1997), as aberturas zenitais, quando compostas por vidros transparentes, podem causar ofuscamento e também produzir ambientes excessivamente uniformes, tornando-se cansativos e monótonos.

2.3.1.3 Elementos de controle

Os elementos de controle servem como filtros que protegem o interior da edificação do meio externo (POGERE, 2001). As proteções solares podem ser externas ou internas à edificação.

Segundo Lamberts et al. (1997), as proteções internas são basicamente as cortinas e persianas, elas controlam a entrada de luz solar direta, porém não evitam o efeito estufa. Já as proteções externas, quando bem dimensionadas, podem garantir a redução da incidência da luz solar, sem interferir significativamente na entrada de luz natural desde que se aumente a área envidraçada para compensar a perda de área de captação de iluminação natural promovida pela proteção solar.

2.3.1.4 Prateleiras de luz

De acordo com Lamberts et al. (1997), as prateleiras de luz são elementos horizontais ou inclinados, que dividem as aberturas em duas porções, sendo a superior destinada à iluminação e a inferior à ventilação e à integração visual do meio interno com o externo. Elas protegem as zonas internas próximas às aberturas da radiação direta do sol e redirecionam a luz para o teto do ambiente, reduzindo o ganho de calor solar e melhorando a distribuição interna de iluminação natural.

As prateleiras podem ser retas, curvas, internas, externas ou mistas e sua superfície superior, a fim de aumentar a reflexão da iluminação natural, pode possuir acabamento em material refletor como alumínio, espelho ou outros (AMORIN, 2002a).

2.3.1.5 Tipos de vidros e películas

Os vidros são materiais transparentes às radiações visíveis que possuem a função de permitir a entrada de iluminação natural no espaço interno (GARROCHO, 2005).

Segundo Lamberts et al. (1997, p. 66) “a radiação solar incidente em um fechamento transparente pode ser absorvida, refletida ou transmitida para o interior, dependendo da absortividade, refletividade e transmissividade do vidro, respectivamente.”

De acordo com Garrocho (2005), existem diversos tipos de vidros que possuem diferentes características de absortividade, refletividade e transmissividade.

Dentre os vários tipos de vidro, existe o vidro simples, que de acordo com Garrocho (2005), é transparente a toda radiação solar, permitindo transparência ao espectro visível e a passagem dos raios infravermelhos que se transformam em calor e aquecem o ambiente.

As películas e vidros absorventes, assim como o vidro simples, são bastante absorventes à radiação longa e pouco reflexivos tanto à onda longa quanto a curta,

além disso, eles diminuem a visibilidade, podendo implicar em gastos desnecessários de energia com iluminação artificial (LAMBERTS et al., 1997).

As películas e vidros reflexivos são compostos por uma camada metálica em uma de suas faces, conferindo um aumento no seu grau de reflexão e redução na transmissão da luz visível, o que impede a visão do ambiente externo quando o interno está iluminado (GARROCHO, 2005).

2.3.2 Características da iluminação natural

A iluminação natural possui diversas características importantes que podem valorizar um ambiente, dentre elas destacam-se a variabilidade, a qualidade da luz, a eficácia luminosa, a comunicação visual com o meio externo e a redução do consumo de energia.

2.3.2.1 Variabilidade da luz natural

A variabilidade da luz natural, segundo Cabús (1997), pode acontecer pelas mudanças da trajetória solar, por mudanças produzidas por fenômenos metereológicos, como a nebulosidade e pelo movimento das nuvens, entre outros. Para Robbins (1986 apud KREMER, 2002, p.12) ela pode trazer um dinamismo diferente ao ambiente, escapando da monotonia dos ambientes iluminados artificialmente, onde os níveis permanecem regulares durante todo o tempo gerando um ambiente estático em termos de iluminação. Esse dinamismo proporciona às edificações uma qualidade viva única, que nenhum outro elemento consegue obter. Para Kremer (2002), esta variabilidade enriquece visualmente o ambiente, pois por estar sempre em movimento e em transformação, evita o cansaço ou a monotonia visual.

Segundo Szokolay (1980, p. 86), a disponibilidade de luz natural, em lux, pode variar de 100.000 lux, para um dia claro, para 5.000 lux, para um dia nublado, demonstrando a grande variabilidade da luz natural conforme as condições de céu.

Mascaró (1991, p. 201) apresenta dados de iluminâncias disponíveis no exterior sobre uma superfície horizontal para a cidade de Porto Alegre. Estes dados são apresentados na Tabela 2.1 e mostram também a grande variabilidade da luz natural no decorrer do ano.

Tabela 2.1 - Níveis de iluminância médios em lux para Porto Alegre sobre um plano horizontal

	Iluminância média sobre plano horizontal desobstruído (lux)	
Época do ano	**Céu claro**	**Céu encoberto**
Verão	78.400	38.400
Equinócios	58.700	26.400
Inverno	24.800	11.150

Fonte: Mascaró (1991, p. 201)

Apesar de autores como Robbins e Kremer defenderem essa característica como positiva, a variabilidade da iluminação natural apresenta também alguns pontos negativos, que devem ser observados. Cabús (1997) apresenta a opinião de vários autores sobre o assunto. Segundo pesquisa do autor, alguns defendem que a variabilidade da luz natural proporciona maior satisfação do que a iluminação artificial devido à monotonia de níveis de iluminância constantes. Outros colocam que a luz natural é absolutamente inconstante, podendo sofrer grandes variações em poucos minutos e que isso pode ser uma característica inconveniente. Há também quem considere que essa variabilidade é um desafio ao projetista, e quem diga que não é necessariamente uma desvantagem, pois a variação na iluminação proporciona maior concentração na atividade que está sendo exercida.

2.3.2.2 Qualidade da luz natural

Para Andrade (2004), a qualidade da luz natural é a principal razão que justifica o seu uso no interior dos edifícios, pois, por ser uma combinação entre a luz

do sol e a luz do céu, é a única fonte de luz que responde de forma completa às exigências visuais dos seres humanos. Segundo Cabús (1997), ela engloba todo espectro da radiação luminosa e, como a evolução do olho humano ocorreu utilizando todo esse espectro, ela é a fonte de luz que mais combina com as necessidades do sistema visual humano.

De acordo com Correia (2008), mesmo com os avanços na tecnologia das lâmpadas elétricas, a luz natural é ainda hoje considerada a que apresenta melhor reprodução das cores, por isso é possível iluminar, para uma mesma tarefa, um ambiente com uma menor quantidade de luz se ela for natural do que se for artificial. Neste estudo, considera-se como referência para os níveis de iluminância interna para luz natural aquele recomendado pela NBR 5413 (ABNT, 1992), uma vez que não existem padrões de referência apenas para a iluminação natural.

2.3.2.3 Eficácia luminosa

Segundo Pereira e Souza (2005), a eficácia luminosa pode ser definida como a habilidade que uma fonte possui de converter potência em luz. A iluminação natural apresenta maior eficácia luminosa do que a artificial. Porém, para que ela seja adequadamente aproveitada, sem que ocorra desconforto térmico ou visual, é importante que se utilize a luz indireta do sol na iluminação dos ambientes.

Para Correia (2008), devido à forte intensidade luminosa e ao aquecimento que a incidência solar direta provoca, ela deve ser evitada sobre as superfícies da tarefa visual. Cabús (2002) defende que um critério para o *design* da luz para o trópico úmido é a diminuição da visibilidade do céu e o sombreamento direto do sol, preservando a área de ventilação e mantendo os níveis de iluminância maiores que o mínimo necessário. Por isso é necessário ter o cuidado ao dimensionar as aberturas, cuidando para que se obtenha a quantidade de luz necessária, sem que se eleve excessivamente a temperatura do ambiente.

2.3.2.4 Comunicação visual com o meio externo

De acordo com Bell e Burt (1995 apud TOLEDO, 2008, p.26), aberturas que permitem visualizar o ambiente externo são desejáveis, pois as pessoas não gostam de estar em um ambiente, sabendo que há possibilidade de vista para o exterior, mas não podem vê-la. As janelas possibilitam a visualização de transformações que ocorrem no meio externo como, por exemplo, mudanças do clima e das horas do dia, auxiliando também na orientação dos usuários da edificação.

No entanto é necessário analisar caso a caso, a qualidade e a conveniência do uso das aberturas. A sua localização pode representar diferentes aspectos das necessidades de visão do exterior. Aberturas zenitais, por exemplo, permitem visualizar a abóboda celeste, enquanto que as laterais permitem observar não só parte do céu como a paisagem externa e o horizonte (CABÚS, 1997).

2.3.2.5 Redução do consumo de energia elétrica

A correta utilização do uso da iluminação natural pode contribuir significativamente com a redução do consumo de energia elétrica das edificações.

Segundo Viana e Gonçalves (2001, apud CORREIA, 2008, p. 29), em edifícios não residenciais, o uso da iluminação natural juntamente com a artificial, mediante a garantia do controle eficiente do sistema e especificação de suas instalações, pode alcançar uma economia de energia elétrica de 30% a 70%.

> Um elevado potencial de economia de energia pode ser alcançado se a iluminação natural for utilizada como uma fonte de luz para iluminar os ambientes internos. No entanto, a iluminação natural não resulta diretamente em economia de energia. A economia só ocorre quando a carga de iluminação artificial pode ser reduzida através de sua utilização. Existem poucas edificações em que a iluminação natural possa suprir o total de iluminação necessária, no entanto, também existem poucas em que a iluminação natural não possa contribuir significativamente na iluminação do ambiente. (GHISI e LAMBERTS, 1997, p. 2)

2.3.3 Sistema de iluminação artificial

A iluminação natural apresenta diversas vantagens em relação à artificial, porém nem sempre pode nos garantir um nível de iluminação adequado, necessitando, na maioria dos casos, da iluminação artificial como complemento. Schmid (2005 apud TOLEDO, 2008, p. 02) destaca que, independente do aproveitamento que se faça da luz natural, a luz artificial, para ser usada à noite ou não, é um elemento quase inevitável da expressividade dos ambientes.

O sistema de iluminação artificial, segundo Souza (2005, p.39) “[...], consiste de algumas ou todas das seguintes partes: fontes (lâmpadas), reatores, refletores, componentes de proteção/difusão e luminárias”.

2.3.4 Características do sistema de iluminação artificial

As características da iluminação artificial dependem, entre outros fatores, das lâmpadas e das luminárias utilizadas.

De acordo com Vianna e Gonçalves (2001, apud DIDONÉ, 2009, p. 42), no sistema de iluminação artificial a lâmpada a ser utilizada está ligada às suas características de reprodução de cores, temperatura de cor correlata e aparência de cor, rendimento, vida útil, custo e relação com o sistema adotado. Já a luminária relaciona-se diretamente com o sistema a ser escolhido, controlando e distribuindo a luz da lâmpada segundo sua curva de distribuição.

2.3.4.1 Lâmpadas

Atualmente existem diversos tipos de lâmpadas que de acordo com PHILIPS (2013), podem ser classificadas em lâmpadas do tipo incandescentes, fluorescentes tubulares, fluorescentes compactas integradas, fluorescentes compactas não

integradas, halógenas, LED, descarga de alta intensidade, descarga de alta intensidade compactas e infravermelho.

A escolha do tipo de lâmpada a ser utilizada no projeto luminotécnico, segundo Louçano (2009), influenciará na escolha do tipo de luminária e no tipo de controle a ser utilizado. Destas escolhas dependerá grande parte da qualidade da iluminação e da eficiência energética do sistema.

As lâmpadas incandescentes são as mais comuns existentes no mercado, são pouco eficientes energeticamente e possuem durabilidade e custos mais baixos comparados a outros tipos de lâmpadas. Elas “funcionam através da passagem da corrente elétrica pelo filamento tungstênio que, com o aquecimento, gera luz.” (PROCEL, 2002, p. 11).

De acordo com Lamberts et al. (1997), existem três tipos de lâmpadas incandescentes que são utilizadas nas edificações, as comuns, as halógenas e as espelhadas. Apesar de todas possuírem o mesmo princípio de funcionamento, as halógenas e as espelhadas possuem algumas características que as diferenciam das comuns. As lâmpadas halógenas funcionam com um gás halógeno no interior do bulbo além dos gases tradicionais e algumas possuem um refletor dicroico, proporcionando uma luz mais fria do que as comuns, já as lâmpadas espelhadas possuem um refletor interno que melhora o condicionamento da luz e funciona como uma luminária.

> O tamanho reduzido, o funcionamento imediato e a desnecessidade de aparelhagem auxiliar (exceto as lâmpadas halógenas) são algumas das principais vantagens deste tipo de lâmpada. Em contrapartida, a eficiência luminosa é bem baixa nestas lâmpadas. Existe uma elevada dissipação de calor, que se traduz no desperdício de energia. Além disso, deve-se tomar cuidado com a possibilidade de ofuscamento, resultante de sua alta iluminância. (LAMBERTS et al., 1997 p. 75)

Diferentemente das lâmpadas incandescentes, nas lâmpadas de descarga elétrica, que incluem as fluorescentes comuns, as compactas e as lâmpadas de vapor de mercúrio, “o fluxo luminoso é gerado direta ou indiretamente pela passagem da corrente elétrica através de um gás, mistura de gases ou vapores” (PROCEL, 2002, p. 13). A durabilidade, o custo e a eficiência energética dessas lâmpadas são maiores do que das incandescentes. Além disso, “devido ao seu princípio de funcionamento, as lâmpadas de descarga gasosa requerem alguns dispositivos auxiliares, como reatores e *starters*” (LAMBERTS et al. 1997 p. 77).

De acordo com OSRAM (2011), a eficiência energética das lâmpadas é dada pela quantidade de lumens gerados por watt absorvido, por isso quanto mais lumens gerados por watt, mais eficiente será a lâmpada conforme mostra a Figura 2.3.

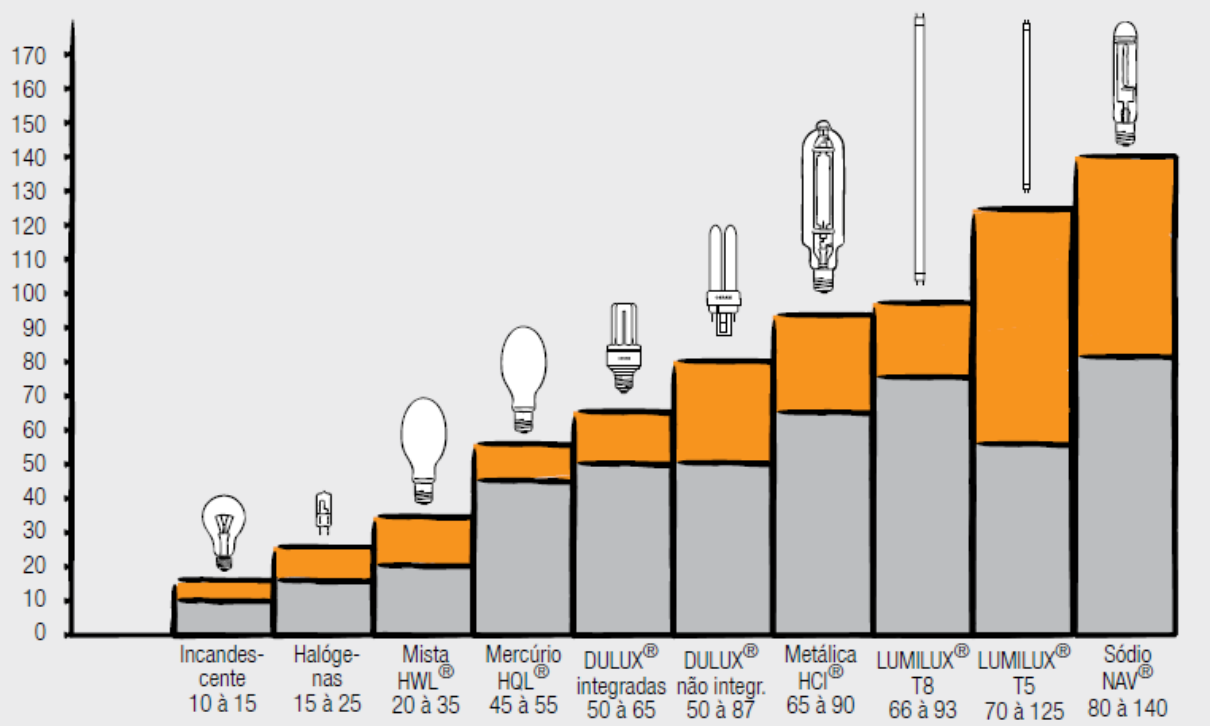


Figura 2.3 – Eficiência energética de alguns tipos de lâmpadas (lm/W)
Fonte: OSRAM (2011, p. 20)

2.3.4.2 Luminárias

As luminárias fazem o controle da distribuição da luz emitida pelas lâmpadas. “Uma luminária eficiente otimiza o desempenho do sistema de iluminação artificial. Ao avaliar uma luminária, sua eficiência e suas características de emissão são de considerável importância” (LAMBERTS et al., 1997, p. 82).

> A eficiência das luminárias é usualmente especificada em termos de taxa de emissão de luz. Esta taxa mede a relação entre a luz total emitida pela luminária e a luz total gerada pelas lâmpadas, mas sem indicação de como é dada a distribuição da luz. A otimização da eficiência das luminárias poderia promover, portanto, o uso daquelas que, embora eficientes em termos de luz emitida, produzem soluções inadequadas de iluminação. (GHISI, 1997, p. 49)

De acordo com Lamberts et al. (1997, p. 82), “o valor da fração de emissão da luz da luminária depende dos materiais empregados na sua construção, da refletância das suas superfícies, de sua forma, dos dispositivos usados para proteger as lâmpadas e do seu estado de conservação.”

Segundo Souza (2005), muitas luminárias usam materiais de alta refletância desenvolvidos para melhorar a distribuição e eficiência de luz, e para ampliar o espaço entre as luminárias. Estes materiais permitem o redirecionamento de raios de luz incidente, permitindo o controle da luz, se diferenciando de refletores pintados, pois eles produzem distribuição de luz incidente difusa, dispersa e espalhada.

Lamberts et al. (1997, p.82) explicam que “a luminária pode modificar (controlar, distribuir e filtrar) o fluxo luminoso emitido pelas lâmpadas: desviá-lo para certas direções (defletores) ou reduzir a quantidade de luz em certas direções para diminuir o ofuscamento (difusores)”.

2.4 Conforto visual

Para que uma edificação possua um bom sistema de iluminação é essencial que ela proporcione conforto visual aos usuários. De acordo com Pereira e Souza (2005), a iluminação dos ambientes construídos permitem o desenvolvimento de tarefas visuais tais como leitura, visão, consertos entre outros.

> Conforto visual é entendido como a existência de um conjunto de condições, num determinado ambiente, no qual o ser humano pode desenvolver suas tarefas visuais com o máximo de acuidade e precisão visual, com o menor esforço, com o menor risco de prejuízos à vista e com reduzidos riscos de acidentes. (LAMBERTS et. al., 1997, p.44-45)

Segundo Lamberts et al. (1997), para que a iluminação seja considerada boa, ela deve possuir iluminância suficiente, proporcionar boa definição de cores, não causar ofuscamento e ter um adequado direcionamento e suficiente intensidade sobre o local de trabalho.

Neste estudo, o conforto visual será avaliado no que diz respeito à quantidade de iluminação disponível sobre a superfície da tarefa visual através da grandeza iluminância medida em lux e sua distribuição no ambiente.

Para que um ambiente proporcione conforto visual aos usuários é importante que suas superfícies possuam uma coloração adequada. As cores possuem propriedade de reflexão da luz que podem melhorar o rendimento do sistema de iluminação, aumentando o nível de iluminamento sem que o fluxo luminoso das fontes de luz precisem ser aumentadas. Os índices de reflexão média de algumas cores são indicados na Tabela 2.2 (PEREIRA; SOUZA, 2005).

Tabela 2.2 – Índices de reflexão média das cores (refletância)

Cor	Refletância [%]
Branco teórico	100
Branco de cal	80
Amarelo	70
Amarelo limão	65
Verde limão	60
Amarelo ouro	60
Rosa	60
Laranja	50
Azul claro	50
Azul celeste	30
Cinza neutro	30
Verde oliva	25
Vermelho	20
Azul turquesa	15
Púrpura	10
Violeta	05
Preto	03
Preto teórico	00

Fonte: Pereira e Souza (2005, p.35)

Segundo Pereira e Souza (2005), os ambientes de trabalho devem ser pintados, preferencialmente, com cores suaves, pois o que realmente interessa, para

iluminação destes espaços, são as propriedades que as cores possuem de reflexão da luz, pois cores com altos índices de reflexão podem levar a um aumento significativo dos níveis de iluminância, aumentando o rendimento do sistema de iluminação.

O teto deve ser pintado com cores claras, mais próximas do branco possível, as paredes devem ser pintadas do mesmo tom das cores do plano de trabalho e o piso com uma cor mais escura do que a utilizada no teto e nas paredes. Os valores de refletância recomendados são indicados na Tabela 2.3 (PEREIRA; SOUZA, 2005).

Tabela 2.3 - Refletâncias recomendadas para teto, paredes e piso

Superfície	Refletância [%]
Teto	90 – 70
Paredes	70 – 50
Piso	40 – 20

Fonte: Pereira e Souza (2005, p.36)

2.5 Eficiência energética de sistemas de iluminação

De acordo com Lamberts et al. (1997, p.14), “ a eficiência energética pode ser entendida como a obtenção de um serviço com baixo dispêndio de energia. Portanto, um edifício é mais eficiente energeticamente que outro quando proporciona as mesmas condições ambientais com menor consumo de energia.”

Nos sistemas de iluminação, a eficiência energética é medida em lm/W e representa a quantidade de energia utilizada na produção de luz visível. Um sistema de iluminação eficiente energeticamente pode ser obtido através do aproveitamento da iluminação natural, diminuindo o tempo de utilização da iluminação artificial e através da diminuição da potência instalada do sistema de iluminação artificial, utilizando componentes mais eficientes energeticamente, como lâmpadas com alta eficiência luminosa, reatores com alto fator de potência e luminárias reflexivas. Além disso, um projeto luminotécnico adequado e ambientes com superfícies claras

também contribuem para um sistema de iluminação eficiente energeticamente (GHISI, 1997).

2.6 Determinação da distribuição horária de iluminância natural disponível em função da irradiância solar global

Os níveis de iluminância externos disponíveis em uma superfície horizontal desobstruída podem ser obtidos a partir de dados de irradiância solar global e o conceito de eficácia luminosa a qual depende de condições climáticas locais, tais como pressão atmosférica, ângulo de elevação solar, turbidez e água precipitável (LEAL e TIBA, 2006). Segundo Leal e Tiba (2006), existem vários modelos matemáticos que permitem obter valores de iluminâncias sobre superfícies planas genéricas a partir de dados de irradiância solar global. Os dados de irradiância solar são medidas mais comuns em estações meteorológicas do que dados diretos de iluminância, daí a importância de tais modelos para conversão de uma grandeza para outra (LEAL e TIBA, 2006). Esses modelos são complexos e envolvem cálculos integrodiferenciais bem como tratamento estatístico dos dados que os alimentam.

Castanheira e Pires (2005) desenvolveram um programa computacional que permite obter dados de iluminância (em lux) disponível sobre superfícies planas genéricas a partir de dados de irradiância solar global média diária mensal incidente em um plano horizontal. O programa chamado IlumiRAD é alimentado com dados específicos de latitude do local, mês e dia, orientação e inclinação da superfície em estudo, albedo, além de valores da irradiância solar global média diária mensal e permite uma estimativa rápida dos níveis de iluminância disponíveis em superfícies planas genéricas. Segundo os autores, embora o programa seja alimentado por dados mensais médios, devido à escassez de dados horários de radiação global e difusa, ele apresenta resultados satisfatórios para diversas aplicações, entre elas, o estudo de disponibilidade de iluminação para fins de projeto de edificações e melhoria da eficiência energética destas.

Os dados de irradiância solar global médios podem ser estimados através do uso do programa computacional RADIASOL2, desenvolvido por Krezinger e Bugs (2010), que fornece dados horários de irradiância solar estatisticamente

representativos das distribuições de radiação solar observada. O programa permite entrar com dados manualmente (de fonte de dados confiável) ou usar banco de dados próprio ou dados oriundos do projeto *Solar and Wind Energy Resource Assessment* (SWERA).

Uma vez que, neste estudo, não foram feitas medições externas de níveis de iluminância, os programas computacionais RADIASOL2 e IlumiRAD2 são usados para estimar a disponibilidade dessa grandeza no meio exterior, sobre uma superfície plana horizontal desobstruída para o local e data das medições efetuadas no interior.

2.7 Normas e regulamentos nacionais voltados à iluminação

Dentre as normas e regulamentos existentes, voltados à iluminação natural e artificial, destacam-se a NBR 15215 (dividida em quatro partes), a NBR 5413, o RAC-C e o RTQ-C (ABNT, 2005a, 2005b, 2005c, 2005d, 1992, BRASIL, 2010) .

2.7.1 NBR 15215

A NBR 15215 (ABNT, 2005a) aborda questões relacionadas à iluminação natural. Ela apresenta-se dividida em quatro partes.

A parte 1, intitulada de Conceitos Básicos e Definições, estabelece conceitos e definições dos componentes de iluminação natural, dos elementos de controle e de alguns termos gerais relacionados com o a iluminação natural e o ambiente construído (ABNT, 2005a).

A parte 2, intitulada de Procedimentos de Cálculo para a Estimativa da Disponibilidade de Luz Natural, “estabelece procedimentos estimativos de cálculo da disponibilidade da luz natural em planos horizontais e verticais externos, para condições de céu claro, encoberto e parcialmente encoberto ou intermediário” (ABNT, 2005b, p.1).

A parte 3, intitulada de Procedimento de Cálculo para a Determinação da Iluminação Natural em Ambientes Internos, explica como determinar através de cálculo, a quantidade de luz natural que passa pelas aberturas da edificação e incide em um ponto interno num plano horizontal a partir da máscara de obstrução do ambiente para o ponto (ABNT, 2005c).

A parte 4, intitulada de Verificação Experimental das Condições de Iluminação Interna de Edificações - Método de Medição, determina como verificar as condições de iluminância e luminância de ambientes internos, através de método experimental (ABNT, 2005d).

A NBR15215-3 (ABNT, 2005c) baseia-se no conceito de *Daylight Factor* (DF), recomendado pela CIE, para definir a Contribuição de Iluminação Natural (CIN) para ambientes internos. O CIN expressa a percentagem de iluminância disponível no interior, sobre uma superfície horizontal, a partir da iluminância disponível no exterior, também sobre uma superfície horizontal, mas livre de obstruções. A diferença entre o DF e o CIN está no tipo de céu adotado nos modelos. O DF baseia-se no céu padrão da CIE em que as iluminâncias estão uniformemente distribuídas segundo o zênite e não há contribuição de radiação solar direta (céu uniforme e encoberto), enquanto o CIN aplica-se a qualquer condição de céu inclusive não uniforme (ABNT, 2005c). A expressão do CIN é dada pela equação 1 que segue.

$$CIN = \frac{E_P}{E_{Hext}} \times 100 \ [\%] \qquad \textit{Eq. 1}$$

Onde:

CIN é o coeficiente de contribuição de iluminação natural expresso em percentagem;

E_P é o nível de iluminância disponível em um ponto P sobre uma superfície horizontal no interior da edificação em lux;

E_{Hext} é o nível de iluminância disponível sobre uma superfície horizontal no exterior livre de qualquer obstrução em lux.

Se o E_P for conhecido, através de medições, por exemplo, e o E_{Hext} também for conhecido, é possível se encontrar o coeficiente CIN e compará-lo com valores

de referência. A NBR15215-3 (ABNT, 2005c) apresenta procedimentos para o cálculo do CIN a partir de um método gráfico. No entanto, não apresenta valores de referência para esse coeficiente.

Referências internacionais apontam, para o DF, valores entre 2% a 5% como satisfatórios, conforme a atividade a ser desenvolvida no ambiente (grau de dificuldade), como a norma argentina IRAM AADL j20-02 - *Iluminación natural en edificios. Condiciones Generales y requisitos especiales* (RAITELLI, 2007) e a norma inglesa *Code of Practice for Daylighting BS8206-02/1996* da *British Standards Institution* (MARDALJEVIC, 2012), ambas baseadas em um céu padrão da CIE. Neste estudo, considerar-se-á adequados valores do CIN entre 2% e 5% para fins de análise, uma vez que não há referências normatizadas para o Brasil.

De acordo com Bittencourt (2004), a máscara de obstrução representa graficamente, na carta solar, os obstáculos que impedem a visão da abóbada celeste por um observador em um ponto qualquer, ou seja, através da máscara se consegue saber qual parte da abóbada celeste está visível e qual está obstruída por barreiras diversas como edificações vizinhas e saliências da própria edificação.

As máscaras de obstrução são feitas com o auxílio de um transferidor de ângulos, como mostra a Figura 2.4. O gráfico resultante simula uma fotografia feita com uma máquina fotográfica com lente “olho-de-peixe” com o eixo apontado para cima. O método de projeção usado pela NBR 15215 é o estereográfico.

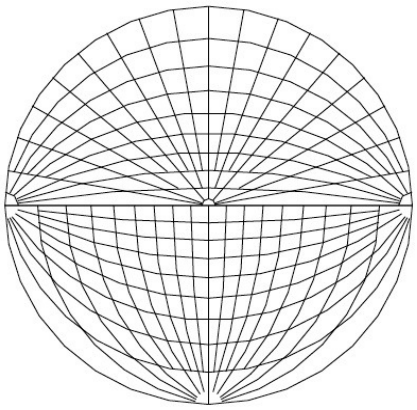


Figura 2.4 – Transferidor de ângulos
Fonte: ABNT (2005c, p.7)

Segundo a NBR 15215 (ABNT, 2005c), para determinação das máscaras de obstrução, devem-se seguir as seguintes etapas:

- determinar os ângulos formados entre a abertura e os pontos selecionados no interior através de plantas baixas e cortes do ambiente em estudo, como mostra a Figura 2.5;
- transpor os ângulos obtidos para a máscara de obstrução, as obstruções externas devem ser marcadas seguindo o mesmo procedimento para levantamento dos ângulos de obstrução, obtendo-se desta forma a fração visível da abóboda celeste, como mostra a Figura 2.6.

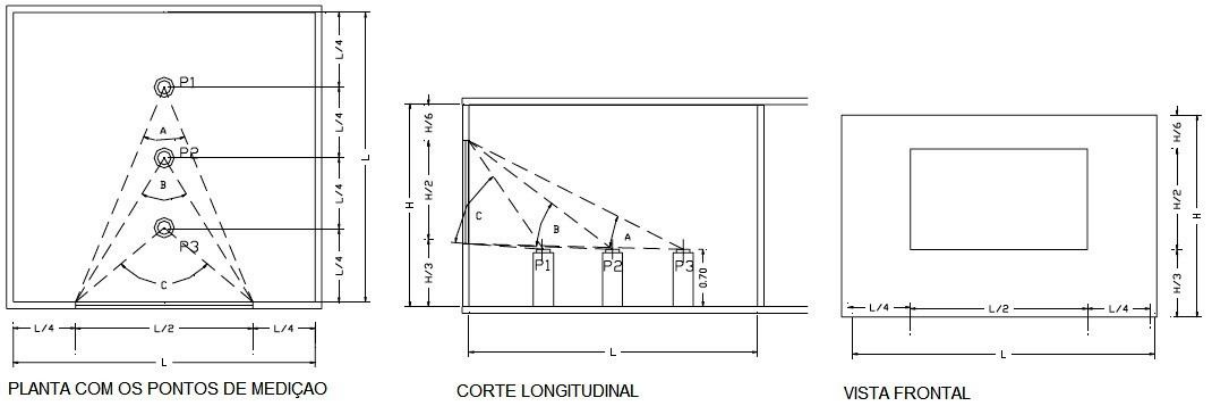


Figura 2.5 – Planta esquemática do ambiente mostrando os três pontos de referência interna, com seus respectivos ângulos de visão da abertura
Fonte: ABNT (2005c, p.7)

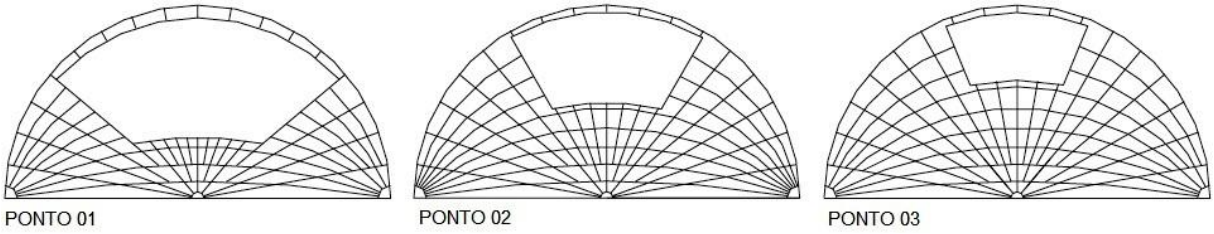


Figura 2.6 – Máscara de obstrução resultante dos três pontos em estudo
Fonte: ABNT (2005c, p.7)

Quanto mais afastado estiver o ponto da janela, menor será a contribuição direta desta última para a iluminação disponível no ponto e maior será a contribuição

da luz proveniente da janela refletida pelas superfícies internas. Isto pode ser depreendido da Figura 2.6 pela área relativa entre a janela e as paredes do ambiente.

2.7.2 NBR 5413

A NBR 5413, Iluminância de Interiores, “estabelece os valores de iluminâncias médias mínimas em serviço para iluminação artificial em interiores, onde se realizem atividades de comércio, indústria, ensino, esporte e outras” (ABNT, 1992, p.1).

A norma indica, para cada ambiente, três valores de iluminância, devendo o valor do meio ser utilizado em todos os casos, o valor mais alto quando a tarefa se apresenta com refletâncias e contrastes bastante baixos, erros são de difícil correção, o trabalho visual é crítico, a alta produtividade ou precisão são de grande importância e a capacidade visual do observador está abaixo da média. Com relação ao valor mais baixo, ele pode ser utilizado quando refletâncias ou contrastes são relativamente altos, a velocidade e/ou precisão não são importantes e a tarefa é executada ocasionalmente (ABNT, 1992).

Para salas de aula a NBR 5413 (ABNT, 1992) recomenda valores médios mínimos de 200, 300 e 500 lux.

2.7.3 RTQ-C e RAC-C

O RTQ-C estabelece parâmetros para definição do nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos, com o objetivo de criar condições para a etiquetagem do nível de eficiência energética (BRASIL, 2010).

O RTQ-C divide a classificação do nível de eficiência em três sistemas individuais (BRASIL, 2010):

- Envoltória
- Sistema de iluminação

- Sistema de condicionamento de ar

Podendo cada um desses sistemas ser analisado separadamente e classificado com nível de eficiência que varia de A (mais eficiente) a E (menos eficiente).

O Regulamento de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RAC-C) descreve como é realizado o processo de análise das características do edifício para etiquetagem junto ao laboratório de inspeção acreditado pelo Inmetro. É através dele que se obtém a ENCE, constituída de duas etapas, a de avaliação do projeto e a de avaliação do edifício (BRASIL, 2010).

2.7.3.1 Requisitos específicos para o sistema de iluminação

De acordo com o manual para aplicação do RTQ-C e RAC-C, para que o nível de eficiência de um sistema de iluminação seja avaliado, é necessário que ele esteja de acordo com o que a NBR 5413 define como níveis mínimos. O nível de eficiência de um sistema de iluminação pode ser avaliado através de cálculos que envolvem a eficiência do projeto luminotécnico e através da aplicação de pré-requisitos específicos (BRASIL, 2012).

Os cálculos que determinam a eficiência do sistema de iluminação podem ser realizados através de dois métodos, o da área do edifício, ou o das atividades do edifício.

> A escolha do método de avaliação do sistema de iluminação fica a critério do profissional que irá analisar a edificação. O método da área do edifício avalia o sistema de iluminação de forma geral, enquanto que o método das atividades do edifício avalia cada ambiente e seu uso de forma individual, podendo ainda proporcionar uma bonificação com o aumento da densidade de potência limite em função do espaço interno dos ambientes. (BRASIL, 2012, p.126-127)

De acordo com o manual para aplicação do RTQ-C e RAC-C (BRASIL, 2012), para avaliação do nível de eficiência pelo método da área do edifício, é necessário seguir as etapas abaixo.

- Identificar a atividade principal do edifício e a densidade de potência de iluminação limite (DPI_L, em W/m²) para cada nível de eficiência, como mostra a Tabela 2.4, no qual já foi selecionado o ambiente de escola e universidade.

Tabela 2.4 - Limite máximo aceitável, de densidade de potência (DPIL), em escolas e universidades pelo método da área do edifício

Função do edifício	Densidade de Potência de Iluminação limite W/m² (Nível A)	Densidade de Potência de Iluminação limite W/m² (Nível B)	Densidade de Potência de Iluminação limite W/m² (Nível C)	Densidade de Potência de Iluminação limite W/m² (Nível D)
Escola / Universidade	10,7	12,3	13,9	15,5

Fonte: Manual para aplicação do RTQ-C e RAC-C (BRASIL, 2012 p. 129)

- Determinar a área iluminada do edifício.
- Multiplicar a área iluminada pela DPI_L, para encontrar a potência limite do edifício.
- Comparar a potência total instalada no edifício e a potência limite para determinar o nível de eficiência do sistema de iluminação.
- Após determinar o nível de eficiência alcançado pelo edifício, deve-se verificar o atendimento dos pré-requisitos em todos os ambientes.

Para o método das atividades do edifício, o processo é semelhante, porém, deve-se calcular também o índice de ambiente (K) e o *Room Cavity Ratio* (RCR), descritos no Manual para aplicação do RTQ-C e RAC-C (BRASIL, 2012).

Os pré-requisitos dividem-se em três e definem se o ambiente se enquadra no nível A, B ou C de eficiência. Quanto maior o número de pré-requisitos atendidos, maior de eficiência do sistema, conforme mostra a Tabela 2.5.

Tabela 2.5 - Relação entre pré-requisitos e níveis de eficiência

Pré-requisito	Nível A	Nível B	Nível C
Divisão dos circuitos	sim	sim	sim
Contribuição da luz natural	sim	sim	
Desligamento automático do sistema de iluminação	sim		

Fonte: Manual para aplicação do RTQ-C e RAC-C (BRASIL, 2012, p. 123)

Segundo o manual para aplicação do RTQ-C e RAC-C (BRASIL, 2012), o pré-requisito divisão de circuitos define que cada ambiente deve possuir um controle manual para acionamento independente da iluminação artificial, em local de fácil acesso; a contribuição da luz natural determina que as luminárias próximas às aberturas devam possuir um circuito de acionamento independente; e o desligamento automático da iluminação artificial refere-se à utilização, em locais maiores do que 250m², de dispositivos que desliguem automaticamente a iluminação artificial, quando o ambiente não está sendo ocupado.

Neste estudo o RTQ-C foi aplicado parcialmente, avaliando apenas o sistema de iluminação das salas de aula selecionadas, através da realização de cálculos utilizando o método da área do edifício e da aplicação dos pré-requisitos específicos.

2.8 Estudos analíticos em iluminação natural e artificial

Neste item são apresentados alguns trabalhos relacionados à avaliação da iluminação natural e artificial de salas de aula através de diversas metodologias e de outros ambientes através do método de medição *in loco.*

2.8.1 Estudos relativos à iluminação de salas de aula

Correia (2008) avaliou o desempenho da iluminação natural das salas de aula teóricas da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), baseando-se em

aferições técnicas e na satisfação dos usuários e constatou uma elevada satisfação dos usuários, mesmo verificando problemas como reflexos no quadro, falta de uniformidade e, ocasionalmente, baixos níveis de iluminância, concluindo que nos sistemas com iluminação lateral, a média de iluminância não é representativa, pois existe uma grande diferença entre os níveis de iluminância em função da distância das aberturas. O método usado pela autora consistiu em realizar uma Avaliação Pós-Ocupação (APO) quantitativa e qualitativa do conforto luminoso das salas de aula dos setores de aulas teóricas da UFRN através da aplicação de questionários com os usuários das salas e de medições *in loco* dos níveis de iluminância. Foram utilizados luxímetros da marca Instrutherm, modelo LD200, localizados a 0,75m do piso dispostos segundo uma malha regular (conforme recomendações da NBR15215-4). Foram feitas medições somente de iluminação natural às 8h, 11h, 14h e 17h a fim de avaliar as alterações dos níveis de iluminância ao longo do dia e em função da distância dos pontos de medição à janela.

Fantinato et al. (2008), através de medições *in loco*, avaliaram a quantidade de iluminação natural aproveitada nas salas de aula da Unicamp e concluíram que havia um desperdício de energia elétrica gasto com iluminação artificial durante o dia, pois a maioria das salas analisadas possuía boa penetração de luz natural, porém o uso de cortinas e películas nos vidros demonstraram que a orientação das aberturas não conseguem aproveitar a iluminação natural de forma adequada, pois não conseguem controlar para que não haja incidência direta da luz do sol, podendo causar ofuscamento e aquecimento em climas quentes e não aproveitam a luz difusa e direta refletida para obter maior conforto visual. Os autores realizaram as medições com o auxílio de uma célula fotocondutiva ou fotorresistência ligada a um multímetro em duas salas de aula julgadas representativas de cada unidade de ensino selecionada, em cada sala as medições foram realizadas em cinco pontos diferentes, dois mais afastados das aberturas, dois mais próximos e um no centro do ambiente. As medições foram feitas para céu claro entre 15h e 16h.

Ghisi e Lamberts (1997) analisaram as condições de iluminação natural das salas de aula do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina a fim de verificar o potencial de economia de energia elétrica através da redução do uso da iluminação artificial e concluíram que a iluminação natural pode gerar economias significativas no consumo de eletricidade e com isso verificaram a necessidade de avaliar as condições de iluminação natural, no momento de

elaboração de projetos luminotécnicos e dos dimensionamentos das proteções solares, para que elas não sirvam apenas para bloquear a passagem dos raios solares, mas sim para aproveitar a iluminação natural. O método utilizado pelos autores consistiu em medir, com auxílio de dois luxímetro da marca Lutron (em janeiro) e dois luxímetros da marca Minipa (em junho), os níveis de iluminânica de quatro salas de aula com iguais dimensões, porém com diferentes orientações solares, em três dias do mês de janeiro e um dia no mês de junho, nos horários das 8, 10, 12, 14 e 16 horas. Desta forma, os autores compararam as condições de iluminação natural ao longo do dia para uma mesma sala e entre salas com diferentes orientações solares. Foram medidos vinte oito pontos em cada sala dispostos segundo uma malha regular, sendo que as medições não foram tomadas de forma simultânea. Os níveis de iluminância obtidos foram comparados com as recomendações prescritas na NBR5413 (ABNT, 1992). O tratamento dado aos dados consistiu na exclusão de valores espúrios e média aritmética para pontos a mesma distância da janela, tomados na mesma hora do dia e para a mesma orientação. Também foram levantadas as condições externas às salas, tais como obstruções e proteções solares.

Amorim et al. (2011) avaliaram o conforto ambiental, o desempenho térmico, a eficiência energética e as condições de iluminação natural no interior do módulo educacional do edifício FIOCRUZ, localizado em Brasília e concluíram que fachadas com amplos panos de vidro e pouca proteção solar contribuem com o gasto excessivo de energia elétrica e com a falta de conforto térmico e visual. O método utilizado para avaliar a iluminação natural baseou-se em medições *in loco* através do uso de luxímetros e em simulações computacionais por meio do programa *Daysim*, além disso, foi aplicado o método prescritivo do RTQ-C para classificar o nível de eficiência energética da envoltória da edificação. As medições foram realizadas no dia 17 de janeiro de 2011, nos horários de 9 e 15 horas, em quatro ambientes com orientações solares diferentes, seguindo-se recomendações da NBR 15215-4, foram medidos 36 pontos em cada ambiente e em cada um deles a iluminação artificial estava desligada e as cortinas, quando existentes, abertas.

O trabalho desenvolvido por Kremer (2002), em um protótipo escolar de Florianópolis, teve por objetivo, investigar a influência que os elementos de obstrução solar podem ter sobre o aproveitamento e o comportamento da iluminação natural dentro de um ambiente. Através de simulações com o programa *Lightscape*

v. 3.2, o autor concluiu que proteções solares levam a uma melhoria no controle da radiação solar direta e da distribuição interna de iluminação, porém prejudicam o desempenho do nível de iluminação dentro do ambiente, demonstrando que esses elementos, quando inseridos na edificação sem a devida preocupação com sua geometria, não podem garantir a melhora geral do desempenho da iluminação. O autor também observou que as salas com orientações Norte-Sul apresentaram um melhor desempenho da iluminação natural, do que as salas posicionadas no sentido Leste-Oeste. O método adotado pelo autor consistiu em duas atividades, uma experimental através de medições in loco, e outra em laboratório através simulações computacionais com o programa *Lightscape v. 3.2*. As medições foram feitas com quatro fotocélulas da marca *LI-COR* acopladas a um aparelho de aquisição de dados *LI-250 LIGHT METER* da *LI-COR* em condições de céu claro em um dia de julho e um dia de setembro de 2001, conforme disponibilidade de acesso às salas. Foram medidas três salas de aula, duas voltadas a leste e uma voltada a oeste, entre 14h e 17h em quatro pontos dispostos segundo uma malha regular.

Aguiar e Bartholomei (2012) avaliaram o conforto visual de quatro salas de aula em duas escolas da rede pública de ensino do município de Presidente Prudente em São Paulo e concluiram que o projeto construtivo das edificações não procurou reduzir a radiação direta nas fachadas a partir de elementos de proteção, além disso, a distribuição das luminárias provocaram oscilações nos níveis de iluminância dos ambientes e a falta de manutenção dos sistemas elétricos acarretou em lâmpadas em desuso. O método utilizado pelos autores baseou-se em medições *in loco* e na aplicação de questionários. Foram selecionadas duas salas de aula em cada escola e as medições aconteceram durante o inverno e o verão, no período da manhã e da tarde, após o término das aulas. No inverno, em uma das escolas as medições ocorreram nos dias 24 e 29 de agosto enquanto que na outra, nos dias 26 e 27 de setembro, ambas com condição de céu claro. No verão ocorreram, em uma das escolas, nos dias 4 e 10 de novembro enquanto que na outra, nos dias 7 e 8 do mesmo mês, ambas com condição de céu com poucas nuvens. As medições foram realizadas com a luz acesa e as cortinas abertas e fechadas e também com a luz apagada e as cortinas abertas e fechadas, para isso, foi utiliizado luxímetro, modelo LD-209, distribuídos em 25 pontos no piso e 3 na lousa, sendo a distribuição dos pontos definidos segundo recomendações da NBR 15215-4. Além disso, durante as

medições, foram aplicados aos alunos e funcionários, questionários, a fim de analisar se a percepção deles condizia com os dados coletados nas medições.

Lima e Leder (2012) analisaram o aproveitamento da iluminação natural do edifício de arquitetura da Universidade Federal da Paraíba, cujas aberturas foram projetadas para priorizar o sombreamento e a ventilação e concluíram que o sistema de iluminação dos ambientes analisados não é adequado, e o que causa maior impacto é o entorno, pois nas simulações sem o entorno o desempenho da iluminação apresentou melhora. O método utilizado pelas autoras consistiu em realizar medições *in loco* e em realizar simulações computacionais através do programa *Daysim*. As medições *in loco* foram realizadas em duas salas de aula simultaneamente, com auxílio de 10 luxímetros digitais da marca Minipa, distribuídos em 5 pontos em cada sala, afastados entre si com distância de 1,5 metros e a 0,75 centímetros do piso. As medições ocorreram de 25 de março a 09 de dezembro de 2011, sendo realizadas a cada 7 ou 15 dias. Todas as medições ocorreram no período da tarde, das 14:30h às 17:00h, com intervalos de 10 minutos, simultaneamente e com o mesmo intervalo, o céu foi monitorado visualmente. A simulação foi realizada a partir de um modelo tridimensional, construído no programa *Sketchup 7.0* e exportado para o programa *Daysim*. Foram montados dois modelos semelhantes às salas que foram medidas *in loco*, porém, os pontos de análise foram distribuídos em uma malha de acordo com o que recomenda a NBR 15215-4 e o horário simulado foi das 7:00h às 17:00h.

Bamberg et al. (2009) avaliaram o conforto visual de uma amostra de salas de aula da Universidade Tecnológica Federal do Paraná em Ponta Grossa e concluíram que as condições de iluminação das salas estão de acordo com o recomendado pela NBR 5413, proporcionando bom rendimento aos alunos, sem causar fadiga visual e diminuindo o risco de acidentes, além disso, através de questionários, as salas foram consideradas confortáveis pelos usuários. O método utilizado baseou-se em medir os níveis de iluminação com auxílio de lúximetros e aplicar questionários aos usuários das salas. As medições foram realizadas em duas etapas denominadas de estudo piloto e de medições definitivas. Na etapa do estudo piloto, foram realizadas medições nos meses de agosto a dezembro, a fim de verificar o ponto significativo de medição de iluminação nas salas, para isso, foram medidos os níveis de iluminância em 15 pontos das salas de aula, calculado a média dos níveis e verificado qual ponto mais se aproximou da média. As medições definitivas foram

realizadas apenas no ponto significativo que representa a iluminância média de cada sala de aula, o tempo de medição foi de meia hora e os dados foram registrados a cada 3 minutos. Juntamente com as medições, foram aplicados questionários aos ocupantes das salas, a fim de verificar a percepção deles em relação a iluminação geral do ambiente.

2.8.2 Estudo relativo à iluminação realizado através de medições *in loco*

Noguchi (2003) analisou as condições de iluminação de um edifício de escritórios na cidade de Maringá no Paraná e verificou excesso de iluminância nas áreas próximas às aberturas e insuficiência nas áreas mais afastadas, concluindo que a geometria do espaço é de fundamental importância para o melhor aproveitamento da luz natural. O método utilizado pela autora consistiu em realizar medições in loco, e aplicar questionários. As medições foram realizadas com auxílio de dois luxímetros, sendo um deles digital portátil Lutron LX-101, utilizado na sala de engenharia e o outro Lutron LX-102, utilizado na sala de controle urbano. Os pontos medidos em cada sala foram definidos de acordo com as recomendações da NBR 15215-4, sendo medidos 25 pontos na sala de engenharia e 42 na sala de controle urbano. As medições foram efetuadas no período de verão, com iluminação artificial apenas, medida durante a noite de 15 de janeiro de 2002 e iluminação artificial mais a natural, medida das 11:30h até as 13h dos dias 15 a 22 de janeiro de 2002. Além disso, foram aplicados questionários com os usuários dos ambientes e durante sete dias foi observado o tempo de utilização da iluminação artificial, a hora em que era acionada e a frequência com que era utilizada.

2.8.3 Estudos relativos à iluminação e à eficiência energética

Com relação à eficiência energética, Toledo (2008) questiona a distribuição de pesos utilizadas no RTQ-C para o cálculo da eficiência energética, que atribui apenas 30% para os sistemas de iluminação e envoltória. Segundo ela, seria melhor

que a envoltória e a iluminação possuíssem pesos mais significativos, em função do uso de estratégias que garantam o conforto luminoso, térmico e a eficiência energética. Uma vez que melhorando a envoltória e o sistema de iluminação, diminui-se o consumo com condicionamento artificial.

Klüsener (2009), em sua dissertação, aplicou o RTQ-C no edifício principal do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria a fim de verificar a aplicabilidade do regulamento e classificar o nível de eficiência energética da edificação. Para os sistemas de iluminação o resultado encontrado foi que a edificação se enquadra no nível E de eficiência. Com relação à aplicabilidade do regulamento, foi observada uma dificuldade em função da necessidade de informações técnicas com alto nível de detalhamento específico que decorrem das definições dos projetos arquitetônico, elétrico, hidrossanitário, instalações e condicionamento de ar. Apesar disso, ela concluiu que a aplicação do RTQ-C pode contribuir com o incentivo de construções que utilizem soluções energeticamente eficientes.

Os estudos apresentados foram a base para a definição do método do estudo conforme apresentado no Capítulo 3 Metodologia.

3 METODOLOGIA

Este capítulo descreve a metodologia utilizada na pesquisa. O trabalho consiste na avaliação da iluminação natural e natural mais artificial em salas de aula do campus da Universidade Federal de Santa Maria em Camobi, Santa Maria, RS.

As etapas empregadas na realização da pesquisa foram:

- definição dos parâmetros de análise;
- seleção das edificações com as respectivas salas de aula a serem analisadas;
- levantamento das características físicas das salas de aula selecionadas;
- medições *in loco*;
- determinação de distribuição horária de iluminância natural a partir da irradiância solar global;
- tratamento e análise dos dados;
- avaliação dos níveis de eficiência energética dos sistemas de iluminação, através da aplicação do RTQ-C.

3.1 Parâmetros para análise

A partir da revisão bibliográfica e com o entendimento de parâmetros que influenciam a disponibilidade de iluminação natural em interiores, foram selecionados os seguintes parâmetros para análise:

- orientação solar;
- características das aberturas (dimensões e tipos de vidro);
- características das superfícies internas (reflectâncias de piso, paredes, teto e mobiliário);
- presença de obstruções externas que diminuem a parcela de céu visível no interior das salas.

A presença ou não de proteção solar externa não foi considerada como parâmetro para análise, pois considera-se que a proteção solar faz parte do sistema de aberturas (sendo desejável estarem presentes em orientações com radiação solar direta na maior parte do ano).

3.2 Seleção das edificações e suas respectivas salas de aula

Os centros de ensino foram selecionados a partir da análise das plantas baixas das edificações e de observação direta, verificando-se quais possuíam ambientes de salas de aula convencionais, com características físicas semelhantes entre elas. Após esses procedimentos, foi realizada uma nova análise selecionando-se pares de salas de aula semelhantes entre si, porém com um dos parâmetros, para análise que interferem na iluminação natural, conforme apresentados no item 3.1, diferentes.

Desta forma, ao submeter simultaneamente os pares de sala com apenas um dos parâmetros para análise diferentes, é possível, numa primeira aproximação, analisar a influência deste parâmetro para a iluminação natural e iluminação natural mais artificial.

Ao analisar os centros de ensino e suas salas de aula, foram selecionadas oito salas. Duas salas, de números 251 e 252, no anexo A ao Centro de Tecnologia (CT), duas salas, de números 2264 e 2265, no Centro de Ciências Sociais e Humanas (CCSH) e quatro salas, de números 3208, 3209, 3269 e 3270, no Centro de Educação (CE).

3.3 Levantamento das características físicas das salas de aula

O levantamento das características físicas das salas de aula selecionadas foi realizado através de observação direta e consulta a registros de projetos arquitetônicos e elétricos obtidos junto a Pró-Reitoria de Infra Estrutura da UFSM. Foram registradas as dimensões das salas de aula e das janelas, os tipos e as cores

dos revestimentos de pisos, paredes e tetos, os tipos e cores do mobiliário, os tipos e cores de proteções solares, externas e internas, quando existiam, a quantidade de luminárias por sala, com número de lâmpadas e potências, sua distribuição, divisão de circuitos e acionamento, bem como as orientações solares de cada sala e qualquer tipo de obstrução do céu visível existente, realizando máscaras de obstrução, através de projeções estereográficas, seguindo as etapas descritas no item 2.7.1 para cada ponto onde os luxímetros foram instalados e após foram calculadas as porcentagens de obstrução, com o auxílio do diagrama dos fatores de forma dado na NBR 15215 (ABNT, 2005c).

As refletâncias de superfícies internas e externas foram definidas a partir da cor percebida e através de valores de referência indicados no item 2.4.

Os levantamentos foram registrados através de fotografias, desenhos e preenchimento de uma ficha padronizada, conforme mostra o Quadro 3.1.

(continua)

LEVANTAMENTO DAS SALAS DE AULA		
Dados gerais		
Centro:		Sala de aula:
Data:		Horário:
Orientação:		Observação:
Características gerais		
Dimensões:		Tipo piso:
Cor/reflectância do piso:		Área piso:
Revestimento paredes:		Cor / refletância paredes:
Revestimento teto:		Cor / refletância teto:
Tipo janela:		Vidro:
Proteção solar		
Tipo:		Material / cor:
Cortina		
Tipo:		Material / cor:
Luminárias		
Tipo:		Quantidade:
Lâmpadas por luminária:		Aletas:
Interruptor:		

(conclusão)

Lâmpadas		
Tipo		
Número total lâmpadas:		Potência:
Voltagem:	Marca:	
Mobiliário		
Nº classes:		Nº cadeiras:
Mesa / cadeira professor:		Armário:
Planta baixa / corte / fotografias / observações		

Quadro 3.1 – Ficha padronizada utilizada na realização dos levantamentos das salas de aula

3.4 Medições *in loco*

3.4.1 Descrição dos equipamentos utilizados

Nas medições *in loco* foram utilizados um conjunto de 12 aparelhos do tipo luxímetro digital com *datalogger*, modelo LDR 225, da marca Instrutherm (Figura 3.1), que registram níveis de iluminância (em lux) com certificados de calibração expedidos pela empresa fornecedora dos aparelhos.

Figura 3.1 – Luxímetro, modelo LDR 225, da marca Instrutherm

De acordo com o manual de instruções, os luxímetros possuem precisão de 3% de leitura e 5 dígitos, capacidade de armazenamento de 40.000 conjuntos de dados automáticos, com intervalo de tempo máximo entre a coleta dos dados de 3 minutos (INSTRUTHERM, 2009).

A Tabela 3.1 mostra um comparativo entre as especificações técnicas dos luxímetros utilizados nas medições e as recomendações da NBR 15.215 (ABNT, 2005d) para os aparelhos usados em medições de níveis de iluminância.

Tabela 3.1 - Comparativo entre as especificações dos luxímentros e as recomendações da NBR 15215-4

Fator	NBR 15215-4	Luxímetro LDR 225	Atende a NBR 15215-4
Erro máximo da resposta espectral	6%	Menor ou igual a 6%	sim
Erro máximo da sensibilidade à temperatura	1% K	+ ou – 0,1% °C	sim
Erro máximo da resposta ao efeito cosseno	3%	Menor ou igual a 2%	sim

Fonte: NBR 15215 (2005d) e Manual de instruções (INSTRUTHERM, 2009)

3.4.2 Descrição da realização das medições

As medições foram realizadas em duas salas de aula simultaneamente, ou seja, cada leitura do nível de iluminância de cada ponto em cada sala de aula corresponde ao mesmo instante de tempo, permitindo, por isso, a análise da disponibilidade de iluminação, em função da comparação entre os valores encontrados em cada ambiente. Em cada sala foram instalados seis luxímetros, no modo automático com intervalo de tempo entre coleta de dados de 3 minutos. Cada medição foi realizada durante o dia, sob duas situações de iluminação (iluminação natural e iluminação natural mais artificial).

Os luxímetros foram instalados sobre as classes (Figura 3.2), dispostos nas salas de aula em relação às suas dimensões, suas aberturas e posição do quadro, conforme mostra a Figura 3.3.

Figura 3.2 – Imagem dos luxímetros sobre os diferentes tipos de classe

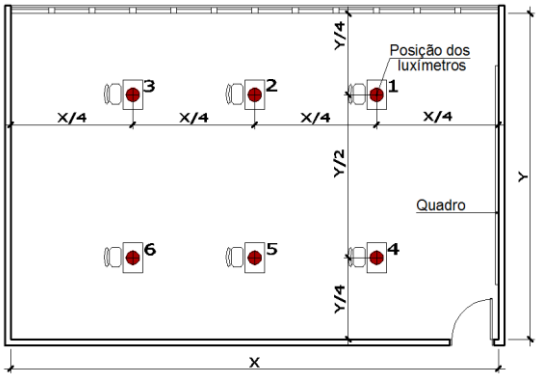


Figura 3.3 – Disposição dos luxímetros nas salas de aula

Em função do número de luxímetros disponíveis (seis aparelhos por sala), eles não puderam ser dispostos de acordo com o que a norma recomenda. De acordo com a NBR 15215 (ABNT, 2005d), o número de pontos de medição deve ser calculado em função da área do ambiente, do tamanho das aberturas e da altura da superfície de trabalho, chegando a 25 pontos de medição nas salas de aula 2264 e 2265 do CCSH e 3208 e 3209 do CE e 16 pontos nas salas 3269 e 3270 do CE e 251 e 252 do anexo A do CT.

A fim de que as medições não fossem prejudicadas e a integridade física dos equipamentos fossem preservadas, as medições foram realizadas nos finais de semana, quando as salas de aula estavam desocupadas. Em função dos horários de funcionamento da universidade (abrir no sábado às 8:00h, fechar às 17:00h e não abrir no domingo) os aparelhos eram instalados na sexta feira à noite, por volta das 19:00h e retirados na segunda feira às 7:00h, a fim de medir durante o sábado e o domingo, nos horários compreendidos entre 8:00h e 17:00h. Em um dos dias, media-se a iluminação natural apenas e no outro a iluminação natural mais a artificial. Para isso, no sábado, por volta das 16:50h, era modificado a condição de iluminação, ou seja, a iluminação artificial era desligada ou acionada. Em função de só terem sido selecionados dados registrados durante o dia, quando a iluminação natural estava presente, as medições com iluminação artificial apenas, não foram consideradas neste estudo.

Antes de cada medição, os vidros das salas de aula eram fechados, as cortinas abertas e as classes organizadas para receber os luxímetros. Após esses ajustes, os aparelhos eram ligados e tinham seus relógios sincronizados entre si. Cada luxímetro era posicionado sobre as classes, medindo-se primeiramente a distância em relação ao quadro e depois a distância em relação à janela e por fim eles eram colocados na função de memorização.

Em cada medição, foi preenchida uma ficha padronizada, conforme mostra o Quadro 3.2, a fim de registrar dados referentes ao dia da medição, como posição dos aparelhos, situação das lâmpadas (condição de manutenção), condição de céu entre outros.

<table>
<tr><th>Data da medição:</th><th>Centro:</th></tr>
<tr><td>Sala de aula:</td><td rowspan="2">Condição do céu:</td></tr>
<tr><td>Aparelhos instalados:</td></tr>
<tr><td>Luz (apagada ou acesa):</td><td>Horário de desligamento das luzes:</td></tr>
<tr><td>Esquema da colocação dos aparelhos:</td><td>Esquema das lâmpadas acesas/apagadas:</td></tr>
<tr><td colspan="2">Observações:</td></tr>
<tr><td>Sala de aula:</td><td rowspan="2">Condição do céu:</td></tr>
<tr><td>Aparelhos instalados:</td></tr>
<tr><td>Luz (apagada ou acesa):</td><td>Horário de desligamento das luzes:</td></tr>
<tr><td>Esquema da colocação dos aparelhos:</td><td>Esquema das lâmpadas acesas/apagadas:</td></tr>
<tr><td colspan="2">Observações e fotografias do céu:</td></tr>
</table>

Quadro 3.2 – Ficha padronizada utilizada para registro de dados em cada medição

Após cada medição, os dados armazenados nos aparelhos foram transferidos para o computador e sistematizados em forma de planilha e gráficos obtidos através do programa Excel ®, para posterior análise.

3.4.3 Período de realização das medições

Considerou-se importante medir as condições de iluminância no período em que as salas de aula são normalmente utilizadas na universidade, ou seja, nos

meses entre março e dezembro, por isso, as medições foram tomadas de março a setembro de 2012, conforme mostra o Quadro 3.3 e não foi seguido a recomendação da NBR 15.215 (ABNT, 2005d), de tomar medições apenas nos solstícios de verão e inverno.

Data das medições	**Salas de aula das medições**				
	251 anexo A do CT / 252 anexo A do CT	**2264 CCSH / 2265 CCSH**	**3209 CE / 3270 CE**	**3208 CE / 3270 CE**	**3208 CE / 3269 CE**
17/03/12			Céu Claro Luz Acesa		
18/03/12			Céu Claro Luz Apagada		
24/03/12					Céu Claro Luz Acesa
25/03/12					Céu Claro Luz Apagada
31/03/12		Céu Claro Luz Acesa			
01/04/12		Céu Claro Luz Apagada			
07/04/12		Céu Claro Luz Acesa			
08/04/12		Céu Claro Luz Apagada			
12/05/12	Céu Claro Luz Apagada				
13/05/12	Céu Claro Luz Acesa				
23/06/12	Céu Claro Luz Acesa				
24/06/12	Céu Claro Luz Apagada				
17/07/12		Céu Parcialmente Encoberto Luz Acesa			
04/08/12		Céu Parcialmente Encoberto Luz apagada			
28/07/12					Céu Encoberto e Claro Luz Acesa
29/07/12					Céu Parcialmente Encoberto Luz Apagada
01/09/12				Céu Claro Luz Acesa	
02/09/12				Céu Claro Luz Apagada	
08/09/12				Céu Encoberto Luz Acesa	
09/09/12				Céu Encoberto Luz Apagada	

Quadro 3.3 – Data das medições e suas respectivas condições de céu e iluminação

3.4.4 Condição de céu durante as medições

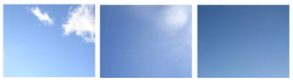
As condições de céu durante as medições foram avaliadas a partir de observação direta e fotografias ao longo do dia. Para classificação do tipo de céu usou-se o proposto pela ABNT (2005b), que considera três tipos de céu, conforme foi explicado no item 2.2.

A fim de comparar os níveis de iluminância das salas de aula sob estas diferentes condições de céu, propôs-se a realização de pelo menos uma medição sob condição de céu claro (céu de coloração azul com poucas ou nenhuma nuvem) e uma sob céu encoberto (céu de coloração acinzentada com nuvens preenchendo toda sua superfície), conforme ilustrado na Figura 3.4, em cada sala de aula. Porém, como no ano de 2012 ocorreram poucos finais de semana com céu encoberto, a medição, com esta condição de céu, não pode ser realizada em todas as salas de aula, além disso, em uma das medições houve alteração da condição de céu e em outra o céu estava parcialmente encoberto.

Figura 3.4 – Exemplo de céu claro e de céu encoberto

A classificação das condições de céu durante as medições foi realizada através de observação direta (no decorrer do dia) e registros fotográficos tomados aproximadamente a cada uma hora e meia, a partir das 8:00h até as 17:00h.

O Quadro 3.4 que segue, apresenta três fotografias, sendo a primeira do período da manhã, a segunda em torno do meio dia e a última no período da tarde, das condições de céu para cada dia de medição.

Data das medições	Condição de céu durante as medições	Salas de aula que foram medidas
17/03/12		3209 e 3270 do CE
18/03/12		
24/03/12		3208 e 3269 do CE
25/03/12		
31/03/12		2264 e 2265 do CCSH
01/04/12		
07/04/12		2264 e 2265 do CCSH
08/04/12		
12/05/12		251 e 252 do anexo A do CT
13/05/12		
23/06/12		251 e 252 do anexo A do CT
24/06/12		
17/07/12		2264 e 2265 do CCSH
04/08/12		
28/07/12		3208 e 3269 do CE
29/07/12		
01/09/12		3208 e 3270 do CE
02/09/12		
08/09/12		3208 e 3270 do CE
09/09/12		

Quadro 3.4 – Condição de céu durante as medições

3.5 Determinação da distribuição horária de iluminância natural a partir da irradiância solar global

Conforme descrito no item 2.6, com auxilio do programa RADIASOL2, aliado ao IlumiRad, é possível estimar a distribuição horária de iluminância natural dos dias em que foram realizadas as medições.

Com auxílio do programa RADIASOL2 foram gerados os dados de irradiação solar média diária de todos os meses para a cidade de Santa Maria conforme mostra a Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Valores de irradiação média diária mensal para a cidade de Santa Maria

Irradiação Média (kWh/m²/dia)	
Mês	**Irradiação global**
Janeiro	6,31
Fevereiro	5,56
Março	4,82
Abril	3,56
Maio	2,90
Junho	2,29
Julho	2,52
Agosto	3,18
Setembro	3,97
Outubro	4,98
Novembro	6,00
Dezembro	6,41

Com os dados da irradiação média diária de cada mês, foi gerado, com auxílio do programa IlumiRad, os dados da distribuição horária de iluminância natural dos dias em que foram realizadas as medições, como mostra a Tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Distribuição horária de iluminância natural dos dias em que foram realizadas as medições

Data das medições	Distribuição horária de iluminância natural (x 1000 lux = Klux)											
	6:30	7:30	8:30	9:30	10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30	17:30
17/03/12	7,40	24,1	43,0	60,0	73,3	80,6	80,6	73,3	60,0	43,0	24,1	7,4
18/03/12	7,2	24,0	42,9	60,1	73,4	80,8	80,8	73,4	60,1	42,9	24,0	7,2
24/03/12	6,2	23,0	42,7	60,4	74,2	81,8	81,8	74,2	60,4	42,7	23,0	6,2
25/03/12	6,0	22,8	42,6	60,4	74,4	82,0	82,0	74,4	60,4	42,6	22,8	6,0
31/03/12	4,9	21,9	42,3	60,7	75,2	83,1	83,1	75,2	60,7	42,3	21,9	4,9
01/04/12	3,5	15,9	31,0	44,6	55,3	61,2	61,2	55,3	44,6	31,0	15,9	3,5
07/04/12	2,7	15,2	30,8	44,9	55,9	62,0	62,0	55,9	44,9	30,8	15,2	2,7
08/04/12	2,5	15,0	30,7	44,9	56,0	62,2	62,2	56,0	44,9	30,7	15,0	2,5
12/05/12	-	8,6	22,7	37,2	48,2	54,3	54,3	48,2	37,2	22,7	8,6	-
13/05/12	-	8,5	22,7	37,2	48,3	54,4	54,4	48,3	37,2	22,7	8,5	-
23/06/12	-	5,2	16,7	29,7	39,3	44,7	44,7	39,3	29,7	16,7	5,2	-
24/06/12	-	5,2	16,7	29,7	39,3	44,7	44,7	39,3	29,7	16,7	5,2	-
17/07/12	-	6,5	19,0	32,5	42,7	48,3	48,3	42,7	32,5	19,0	6,5	-
04/08/12	-	9,9	25,3	40,8	52,7	59,2	59,2	52,7	40,8	25,3	9,9	-
28/07/12	-	7,3	19,6	32,4	42,1	47,5	47,5	42,1	32,4	19,6	7,3	-
29/07/12	-	7,3	19,7	32,4	42,1	47,4	47,4	42,1	32,4	19,7	7,3	-
01/09/12	2,4	16,5	34,2	50,2	62,9	69,8	69,8	62,9	50,2	34,2	16,5	2,4
02/09/12	2,6	16,7	34,2	50,2	62,7	69,7	69,7	62,7	50,2	34,2	16,7	2,6
08/09/12	3,5	17,5	34,5	50,0	62,1	68,7	68,7	62,1	50,0	34,5	17,5	3,5
09/09/12	3,7	17,6	34,6	49,9	62,0	68,6	68,6	62,0	49,9	34,6	17,6	3,7

3.6 Tratamento e análise dos dados

As análises das condições de iluminação natural e natural mais artificial foram realizadas através de gráficos, gerados com o auxílio do programa Excel®. As medições foram registradas de 3 em 3 minutos, durante a noite de sexta-feira e todo o final de semana (sábado e domingo), porém, em função da mudança da condição

de iluminação (desligamento ou acionamento da iluminação artificial por volta das 16:50h de sábado) foram selecionados apenas os dados referentes aos horários compreendidos entre 8:00h e 16:50h de sábado e de domingo.

Os dados foram tratados, considerando-se o último valor medido no sábado, antes da alteração da condição de iluminação, como referente às 17h e substituindo-se, quando necessário, os valores atípicos pelo seu anterior, medido 3 minutos antes, esses dados foram assim considerados, por serem excessivamente altos (cerca de 1000 lux acima do anterior ou posterior) muito diferentes dos demais registrados durante a medição e por terem sido registrados apenas uma vez em um determinado aparelho, demonstrando ser, provavelmente, uma falha da medição e não uma alteração do nível de iluminância. Após, os dados foram separados a cada uma hora e meia e colocados num gráfico de linhas com marcadores, que mostram a variação da iluminância (em lux) através do tempo (em horas) ao longo do dia, em cada ponto medido.

Como não existem níveis de iluminância recomendados para iluminação natural, ambos os gráficos de iluminação natural e iluminação natural mais artificial foram analisados comparando-os com os valores de níveis de iluminância recomendados para iluminação artificial pela NBR 5413 (ABNT, 1992) verificando-os se estavam de acordo com o que a norma recomenda para salas de aula, conforme descrito no item 2.7.2. Como pode-se depreender que a maioria é jovem (universitários) e o ambiente é de sala de aula, onde a velocidade e a precisão não são importantes, pois as tarefas usuais são de leitura e escrita, optou-se por considerar como adequado, além do valor intermediário (300 lux), o menor valor dado pela norma, para salas de aula (200 lux) e em função de a NBR 5413 indicar também, um terceiro valor, (500 lux), considerou-se pertinente considerar que valores muito acima dele podem ser considerados como excessivos, tendo em vista que ele é indicado para a situação de visibilidade mais crítica possível.

Como não foram feitas medições de níveis de iluminância disponíveis no meio exterior, as análises feitas são relativas, ou seja, comparam-se em duas salas diferentes em um parâmetro selecionado para a análise, o comportamento da iluminação natural e o comportamento da iluminação artificial (cujas medições foram feitas em um mesmo dia e, portanto, sob as mesmas condições de céu).

A fim de complementar as análises, foram simulados, com o auxílio dos programas RADIASOL2 e IlumiRad, os valores de iluminâncias exteriores sobre uma

superfície horizontal desobstruída, para os dias em que foram realizadas as medições, conforme mostra o item 3.5. A partir dos valores de iluminâncias externas estimadas e internas medidas, encontrar-se-á os valores de coeficientes CIN, conforme item 2.7.1, para cada um dos seis pontos onde se efetuaram as medições, dos dias em que as medições foram realizadas com iluminação natural apenas. Esses valores serão analisados comparando-os com o intervalo assumido como aceitável a partir de referências internacionais, ou seja, devem estar entre 2% e 5%, conforme apresentado no item 2.7.1.

O Quadro 3.5 mostra como foram feitas as análises em cada sala de aula e em cada par de salas medidas simultaneamente.

Salas de aula	Análises efetuadas
Individualmente 251 do anexo A do CT 252 do anexo A do CT 2264 do CCSH 2265 do CCSH 3208 do CE 3209 do CE 3269 do CE 3270 do CE	• Distribuição da luz natural em função da distância das aberturas. • Comparação dos dados obtidos com os níveis recomendados pela NBR 5413. • Comparação dos dados obtidos na medição com iluminação natural com os valores dos coeficientes de CIN.
Pares 251 e 252 do anexo A do CT 2264 e 2265 do CCSH 3208 e 3270 do CE 3208 e 3269 do CE 3209 e 3270 do CE	• Quantidade de iluminação natural em função da orientação solar. • Distribuição da iluminação natural em função da orientação solar. • Necessidade de iluminação artificial em função da orientação solar.

Quadro 3.5 – Análises efetuadas através da comparação de resultados

3.7 Aplicação do RTQ-C

Com base nos levantamentos realizados nas salas de aula, foi avaliado parcialmente o nível de eficiência energética do sistema de iluminação das salas

selecionadas, conforme recomendações do RTQ-C, através do método da área do edifício, para cálculo da potência instalada e dos pré-requisitos específicos, ambos explicados no item 2.7.3.1.

Foi selecionado o método da área do edifício, pois, segundo o manual para aplicação do RTQ-C e RAC-C (BRASIL, 2012), ele avalia o sistema de iluminação de forma geral enquanto que o método das atividades do edifício avalia de forma individual e deve ser utilizado quando o local que se vai avaliar é formado por mais de três atividades principais.

Primeiramente os níveis de eficiência dos sistemas de iluminação foram avaliados pelo método da área do edifício, foi calculado o valor total de potência instalada em cada sala de aula e comparado com o valor resultante da multiplicação das densidades de potência limite de cada nível, para escolas e universidade, pela área do ambiente, estabelecendo em qual nível de eficiência, de A a E, cada ambiente se enquadrava. Depois de feita essa classificação, cada sala foi analisada a fim de verificar se as que foram classificadas com níveis de A a C mantinham este resultado em função da aplicação dos três pré-requisitos específicos (divisão de circuitos, contribuição da luz natural e desligamento automático do sistema de iluminação).

3.8 Limitações da pesquisa

A pesquisa teve as seguintes limitações:

- existência de poucas salas de aula semelhantes com apenas um dos parâmetros para análise, descritos no item 3.1, diferentes;
- necessidade de realizar as medições apenas nos finais de semana em função de serem os únicos dias em que as salas normalmente estão desocupadas;
- impossibilidade de instalar os aparelhos em algumas salas de aula, devido ao fato de haver aula na sexta-feira de noite ou no sábado de manhã;

- horário de realização das medições em função das edificações dos centros de ensino da universidade fecharem no sábado às 17:00h e não abrirem no domingo;
- falta de aparelhos para realizar medições dos níveis de iluminância externos;
- condições de céu não serem consideradas nos coeficientes de CIN, já que eles foram obtidos através de simulação com os programas RADIASOL2 e IlumiRad e não com medições dos níveis externos;
- número de luxímetros não ser suficiente para que as salas fossem medidas simultaneamente respeitando as recomendações da NBR 15215 (ABNT, 2005d), no que diz respeito ao número de pontos medidos;

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Descrição e caracterização das edificações em estudo

Seguindo os critérios de seleção das edificações e das salas de aula, explicados na metodologia, no item 3.2, foram definidas 8 salas, em 3 edificações da Universidade Federal de Santa Maria, duas salas no anexo A do CT, duas salas no CCSH e quatro salas no CE.

A Figura 4.1 mostra a implantação do campus da UFSM, com as edificações selecionadas, as ruas que dão acesso a elas e a carta solar indicando a trajetória aparente do sol para a latitude correspondente à Santa Maria.

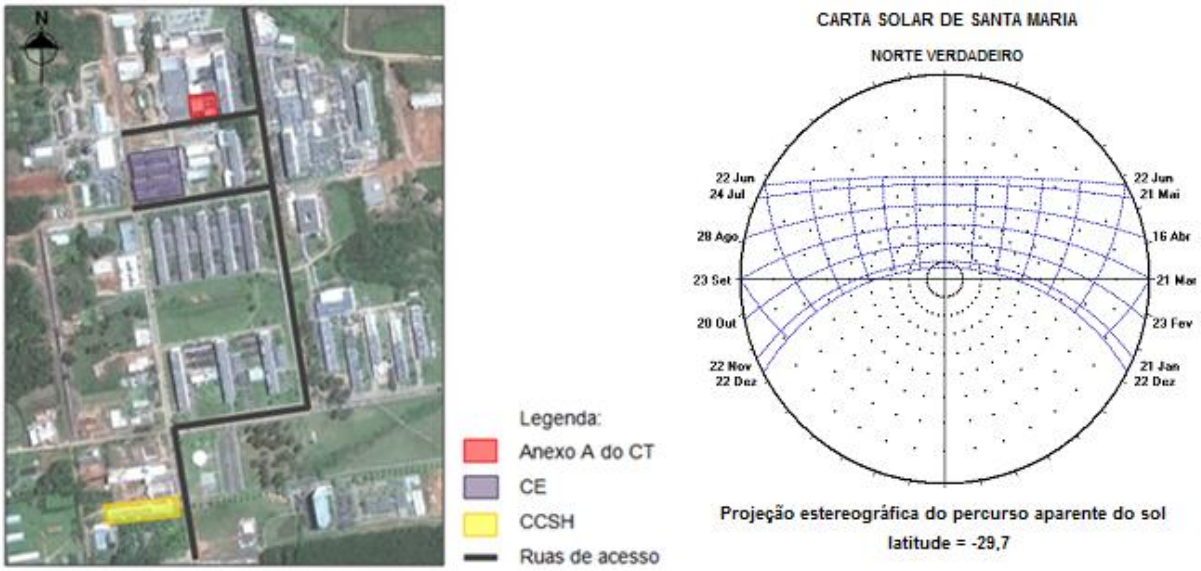


Figura 4.1 – Localização das edificações selecionadas e carta solar de Santa Maria
Fonte: adaptado do Google Earth (2011)

4.2 Resultados das salas de aula do anexo A do CT

4.2.1 Descrição e caracterização das salas de aula do anexo A do CT

No anexo A do Centro de Tecnologia (CT) foram selecionadas as salas 251 e 252, ambas no segundo pavimento, com mesma área e características físicas similares, porém com diferentes orientações solares, como mostra a Figura 4.2.

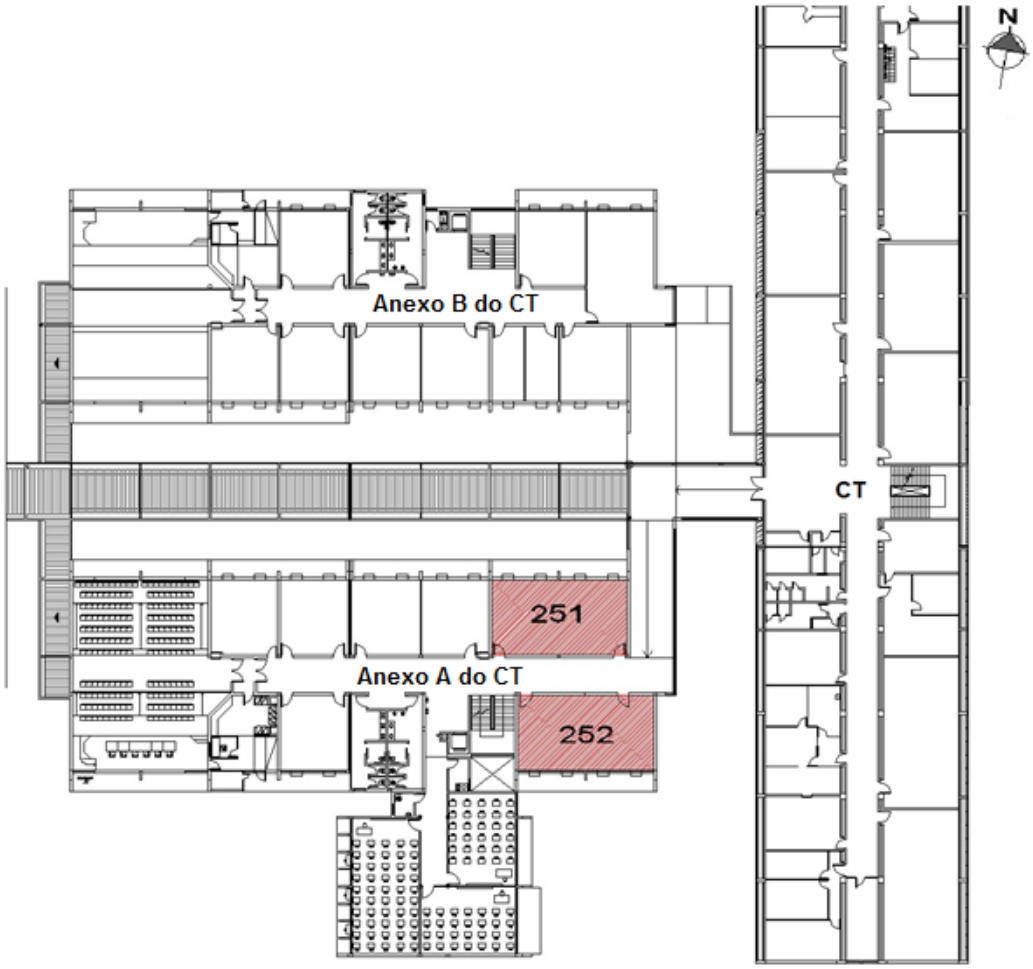


Figura 4.2 – Planta baixa de parte do bloco do CT e do anexo A do CT mostrando as salas de aula selecionadas
Fonte: adaptado de UFSM (2011)

4.2.1.1 Salas de aula 251 e 252

As salas de aula 251 e 252 possuem dimensões, disposição dos móveis e luminárias, altura das aberturas, desenho da proteção solar e posição onde os luxímetros foram instalados, conforme mostram a Figura 4.3 e a Figura 4.4.

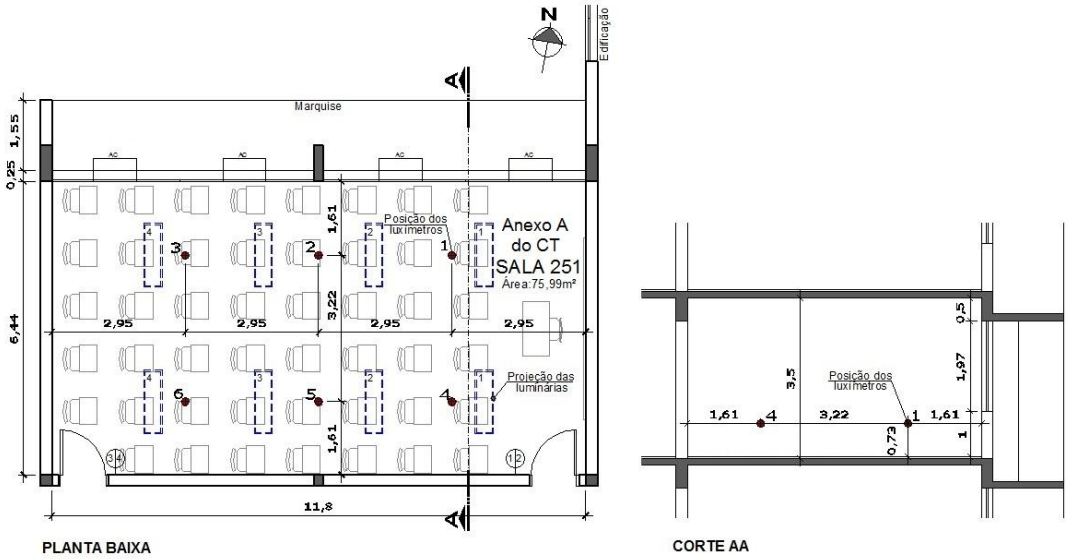


Figura 4.3 – Planta baixa e corte esquemáticos da sala de aula 251 do anexo A do CT

Fonte: adaptado de UFSM (2011)

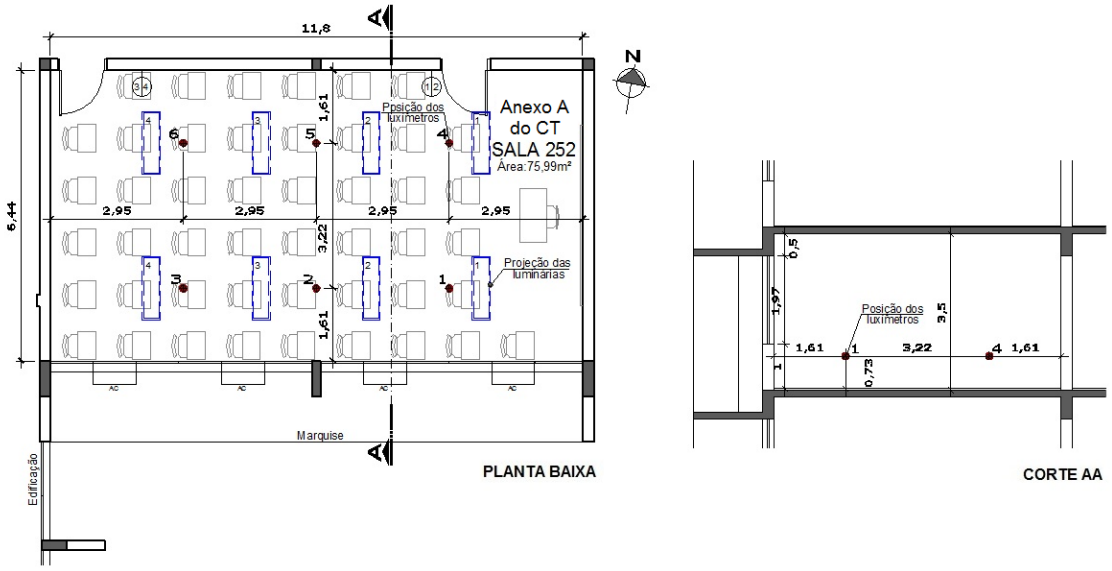


Figura 4.4 – Planta baixa e corte esquemáticos da sala de aula 252 do anexo A do CT

Fonte: adaptado de UFSM (2011)

Os ambientes possuem características físicas conforme mostram a Figura 4.5, a Figura 4.6 e o Quadro 4.1. De acordo com o que foi apresentado na Tabela 2.3, do item 2.4, da revisão bibliográfica, nestas salas, apenas os coeficientes de reflexão do piso e das paredes, estão de acordo com os recomendados para ambientes como os de sala de aula.

Figura 4.5 – Imagens da sala de aula 251 do anexo A do CT

Figura 4.6 – Imagens da sala de aula 252 do anexo A do CT

Características	Sala de aula 251	Sala de aula 252
Dimensões	11,8m x 6,44m x 3,5m	11,8m x 6,44m x 3,5m
Orientação solar	Norte	Sul
Cor do piso	Marrom / coeficiente de reflexão = 30%	Marrom / coeficiente de reflexão = 30%
Cor das paredes	Azul claro / coeficiente de reflexão = 50%	Azul claro / coeficiente de reflexão = 50%
Cor do teto	Azul claro / coeficiente de reflexão = 50%	Azul claro / coeficiente de reflexão = 50%
Cor do mobiliário	Verde claro / coeficiente de reflexão = 50%	Verde claro / coeficiente de reflexão= 50%
Aberturas	Basculante metálica, vidro com película grafite fumê com 50% de coeficiente de transmissão	Basculante metálica, vidro com película grafite fumê com 50% de coeficiente de transmissão
Proteção solar externa	Marquise / coeficiente de reflexão = 50%	Marquise / coeficiente de reflexão = 50%
Proteção solar interna	Persiana vertical de tecido azul claro	Persiana vertical de tecido azul claro
Obstrução externa	Edificação em frente e na lateral das aberturas. coeficiente de reflexão = 50%	Edificação, na lateral das aberturas coeficiente de reflexão = 50%
Luminárias	8 calhas espelhadas suspensas em trilhos	8 calhas espelhadas suspensas em trilhos
Lâmpadas por luminária	2 fluorescentes de 32W	2 fluorescentes de 32W
Reator	Eletrônico 2x32W / perdas - 6W	Eletrônico 2x32W / perdas - 6W
Potência total	560W	560W

Quadro 4.1 – Características físicas das salas 251 e 252 do anexo A do CT

A face externa das salas de aula possui revestimento em reboco pintado nas cores azul claro e laranja. Na sala 251 a edificação em frente e na lateral das aberturas (obstrução) possui as mesmas características da sua face externa, como mostra a Figura 4.7 e na sala 252, não existe presença de obstrução próxima em frente às aberturas, apenas nas laterais, formadas pela própria edificação, como mostra a Figura 4.8.

Figura 4.7 – Imagens, respectivamente, da face externa da sala 251 e da obstrução em frente às aberturas

Figura 4.8 – Imagens, respectivamente, da face externa da sala 252 e do estacionamento em frente às aberturas

Na sala 251, a edificação em frente às aberturas (obstrução) possui 12,10m de altura, e está a 15m distância da sala 251, como mostra a Figura 4.9.

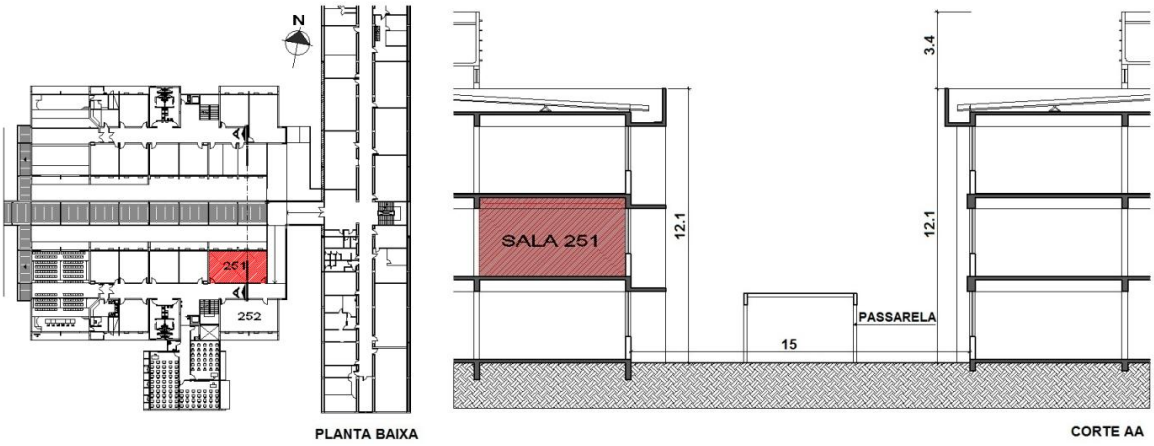


Figura 4.9 – Planta baixa e corte esquemáticos, mostrando a distância e a altura da edificação em frente à sala 251
Fonte: adaptado de UFSM (2011)

A Figura 4.10 e a Figura 4.11 mostram as máscaras de obstrução desenvolvidas, para cada ponto onde foram instalados os luxímetros, com suas respectivas porcentagens de obstrução do céu visível, devido aos pilares existentes entre as aberturas e as edificações na frente e nas laterais do anexo A do CT para a sala 251, orientação norte e para a sala 252, orientação sul.

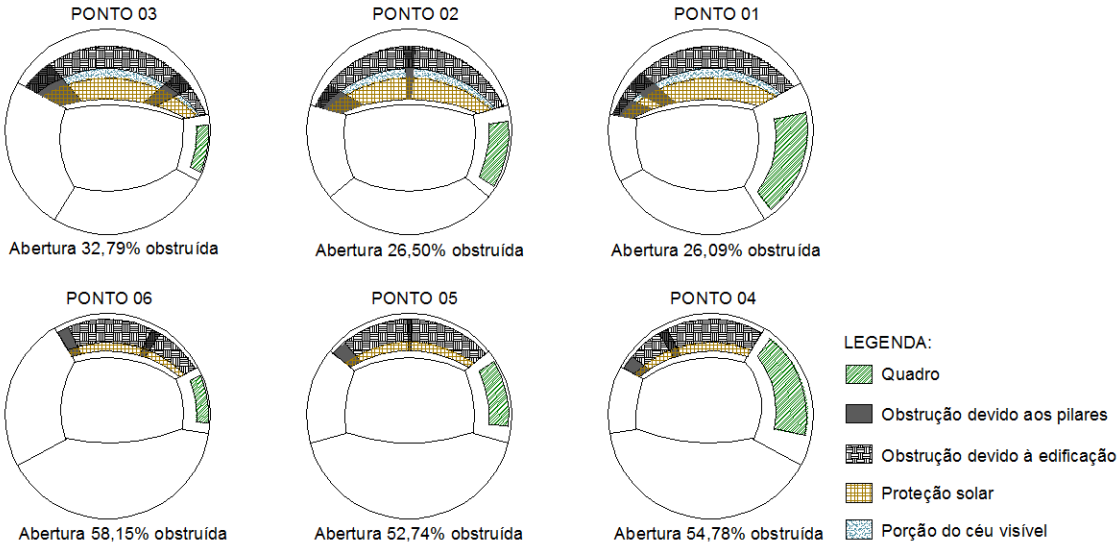


Figura 4.10 – Máscara de obstrução de cada ponto onde foram realizadas as medições da sala 251

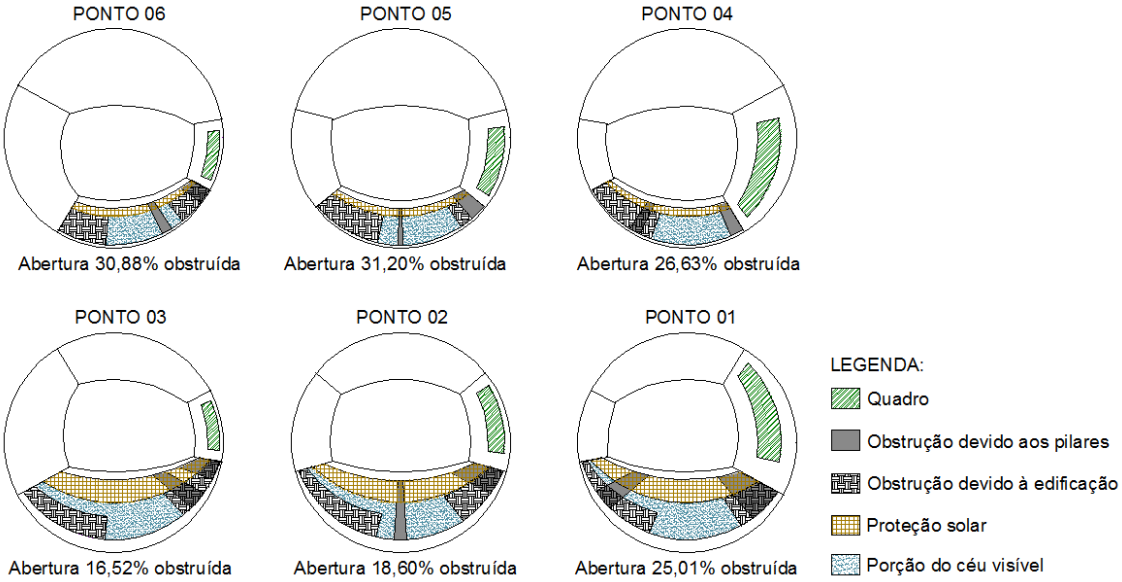


Figura 4.11– Máscara de obstrução de cada ponto onde foram realizadas as medições da sala 252

4.2.2 Medições das salas 251 e 252 do anexo A do CT

As medições das salas de aula 251 e 252 do anexo A do CT foram tomadas nos finais de semana dos dias 12/05/12 e 13/05/12 e 23/06/12 e 24/06/12, ambas com céu claro.

4.2.2.1 Resultados dos dias 12/05/12 e 13/05/12

As medições dos dias 12/05/12 e 13/05/12, foram realizadas sob condição de céu claro, como mostram as fotografias da Figura 4.12, obtidas, respectivamente, no período da manhã, em torno de meio dia e durante a tarde.

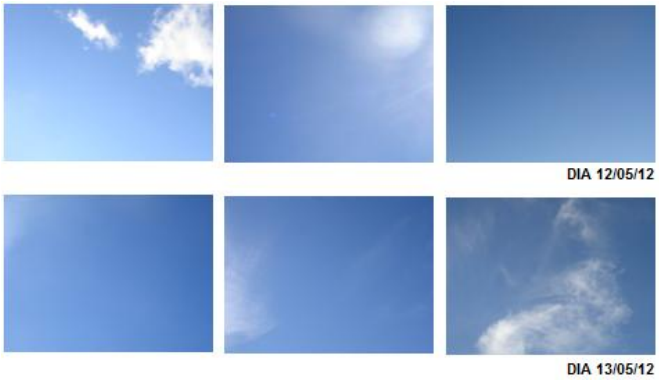


Figura 4.12 – Fotografias do céu obtidas ao longo dos dias 12/05/12 e 13/05/12

A Tabela 4.1 e a Tabela 4.2 mostram os coeficientes de CIN estimados e os níveis de iluminância medidos, em lux, de cada ponto onde foram realizadas as medições das salas 251 e 252 respectivamente, no dia 12/05/12 quando foi medida apenas a iluminação natural.

Tabela 4.1 – Coeficientes de CIN e níveis de iluminância da sala 251

Dia 12/05/2012												
	Sala de aula 251											
Horário	Ponto 01		Ponto 02		Ponto 03		Ponto 04		Ponto 05		Ponto 06	
	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux
08:30	0,03%	7,76	0,04%	8,38	0,04%	8,69	0,01%	2,35	0,01%	2,49	0,01%	2,47
09:30	0,05%	18,25	0,07%	25,55	0,13%	49,7	0,03%	11,48	0,04%	14,26	0,05%	18,7
10:30	0,10%	48,73	0,12%	58,08	0,18%	86,02	0,04%	19,78	0,05%	22,49	0,06%	29,89
11:30	0,11%	57,54	0,12%	63,33	0,14%	76,84	0,05%	27,01	0,05%	29,48	0,06%	33,63
12:30	0,14%	78,07	0,14%	74,56	0,15%	82,73	0,07%	35,8	0,07%	35,67	0,07%	39,39
13:30	0,20%	96,4	0,18%	86,05	0,18%	88,69	0,10%	47,29	0,09%	44,61	0,10%	46,97
14:30	0,28%	105,7	0,23%	86,87	0,23%	85,21	0,14%	52,74	0,13%	48,58	0,12%	45,06
15:30	5,59%	1269	3,29%	745,9	0,32%	72,52	0,26%	57,92	0,20%	44,92	0,16%	35,76
16:30	0,15%	13,14	0,16%	13,37	0,19%	16,21	0,06%	4,77	0,06%	5,1	0,07%	6,02

De acordo com a Tabela 4.1, os níveis de iluminância são bastante baixos, menores do que a NBR 5413 recomenda (200 a 500 lux), em grande parte do dia, sendo maior do que o mínimo recomendado pela NBR 5413 para condições críticas (500 lux), apenas às 15:30h, nos pontos 01 e 02, correspondendo em grande parte aos coeficientes de CIN que também são inferiores ao que recomendam as normas internacionais (2 a 5%) na maior parte do dia, sendo superior apenas às 15:30h no ponto 01. Para o ponto 02, o CIN está dentro do intervalo considerado como referência (2 a 5%), no entanto o valor do nível de iluminância está acima de 500 lux, o que pode indicar que este intervalo não é adequado para as condições de céu na região sul do Brasil.

Tabela 4.2 – Coeficientes de CIN e níveis de iluminância da sala 252

Dia 12/05/2012												
	Sala de aula 252											
Horário	Ponto 01		Ponto 02		Ponto 03		Ponto 04		Ponto 05		Ponto 06	
	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux
08:30	0,00%	0,84	0,00%	0,73	0,00%	0	0,00%	0,06	0,00%	0,33	0,00%	0,36
09:30	0,00%	1,35	0,00%	1,33	0,00%	0,22	0,00%	0,44	0,00%	0,87	0,00%	0,78
10:30	0,00%	1,84	0,00%	1,77	0,00%	0,54	0,00%	0,86	0,00%	1,35	0,00%	1,19
11:30	0,00%	1,81	0,00%	1,73	0,00%	0,68	0,00%	0,99	0,00%	1,47	0,00%	1,36
12:30	0,00%	1,8	0,00%	1,61	0,00%	0,67	0,00%	1	0,00%	1,43	0,00%	1,39
13:30	0,00%	1,59	0,00%	1,46	0,00%	0,63	0,00%	0,85	0,00%	1,34	0,00%	1,36
14:30	0,00%	1,49	0,00%	1,46	0,00%	0,63	0,00%	0,69	0,00%	1,24	0,00%	1,33
15:30	0,01%	1,25	0,01%	1,25	0,00%	0,42	0,00%	0,46	0,00%	0,95	0,00%	1,06
16:30	0,01%	0,96	0,01%	0,94	0,00%	0,13	0,00%	0,21	0,01%	0,61	0,01%	0,69

De acordo com a Tabela 4.2, os níveis de iluminância, em todos os pontos, são bastante baixos, menores do que recomenda a NBR 5413 (200 a 500 lux), correspondendo aos coeficientes de CIN que também são baixos e não alcançam os valores tomados como referência (2 a 5%).

A Figura 4.13 mostra a disposição das luminárias e a situação das lâmpadas nas salas de aula 251 e 252 do anexo A do CT, no dia 13/05/12, quando foi realizada a medição com iluminação natural mais artificial.

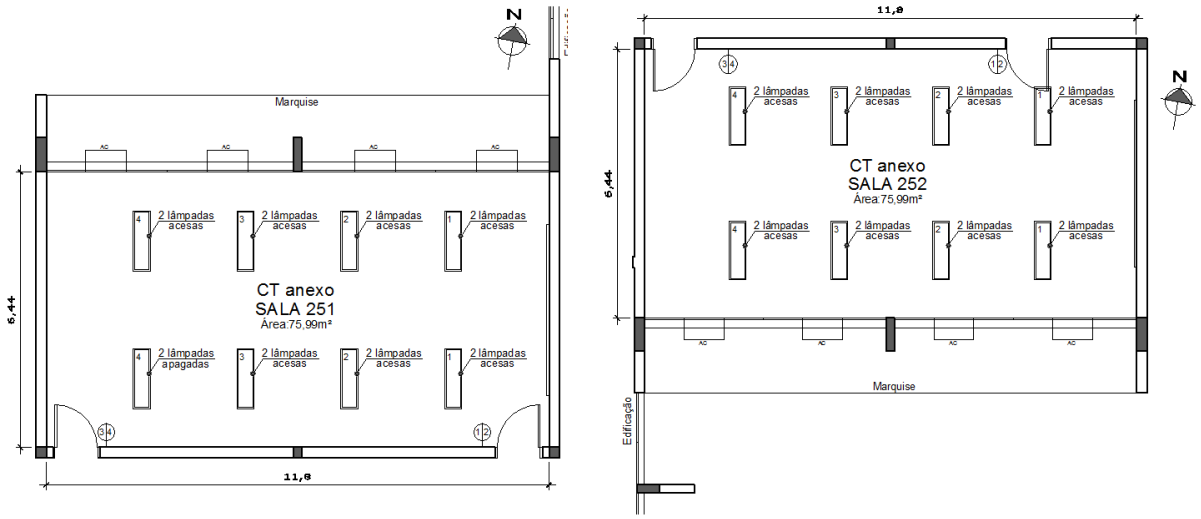


Figura 4.13 – Posição das luminárias e situação das lâmpadas nas salas 251 e 252 do anexo A do CT

Fonte: adaptado de UFSM (2011)

A Figura 4.14 apresenta os gráficos com os resultados obtidos para a sala 251 e 252, quando medida apenas a iluminação natural.

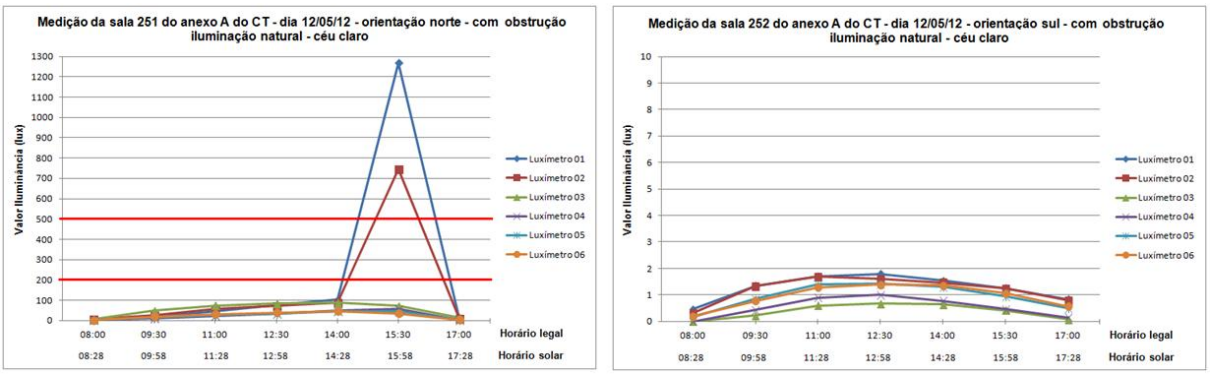


Figura 4.14 - Gráficos dos níveis de iluminância das salas de aula 251 e 252 do anexo A do CT, quando medida apenas a iluminação natural

De acordo com os gráficos da Figura 4.14, quando medida apenas a iluminação natural da sala 251, sob condição de céu claro, conforme esperado, em função das aberturas possuírem película fumê, os níveis de iluminância são insuficientes, abaixo do que recomenda a NBR 5413, na maior parte do dia. Os níveis de iluminância assumem valores altos (acima de 500lux) no período da tarde em dois dos três pontos mais próximos das aberturas. Nos pontos mais afastados das aberturas, e no ponto 03 (mais próximo das aberturas) os níveis são inferiores a 100 lux, ficando abaixo do que recomenda a NBR 5413 (200 a 500 lux) e sendo necessário o uso da iluminação artificial durante todo dia, Nos pontos 01 e 02 os níveis também são baixos e necessitam da iluminação artificial, porém apenas até por volta das 14:00h (horário legal), quando em função da trajetória solar, a luz natural incide diretamente nas aberturas elevando os níveis de iluminância, que ultrapassam o mínimo recomendado pela NBR 5413 para condições críticas (500 lux), podendo causar desconforto visual, como mostra o gráfico da Figura 4.15 elaborado no período entre 15:00h e 16:30h (horário legal), com intervalo de 15 minutos entre uma medição e outra.

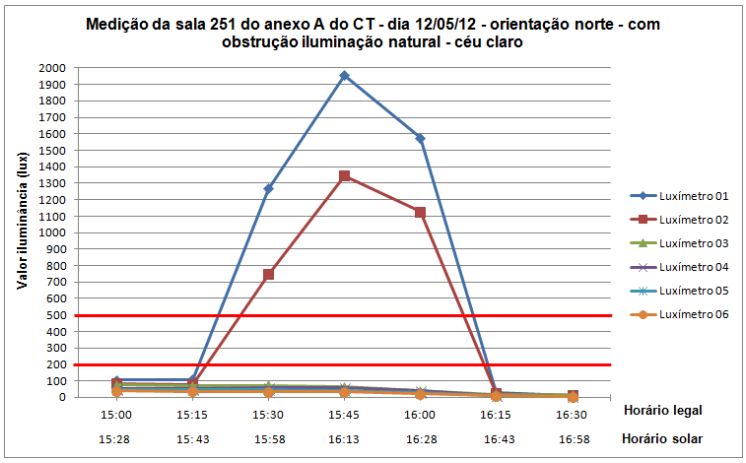


Figura 4.15 - Gráfico dos níveis de iluminância da sala de aula 251 do anexo A do CT, quando medida apenas a iluminação natural

A presença da película fumê nos vidros reduz significativamente a disponibilidade de iluminação natural no período da manhã, quando o sol não se encontra na posição norte da abóbada celeste, mas, no período da tarde, quando esta porção de céu está mais brilhante, penetra na sala, elevando os níveis de iluminância, além do mínimo recomendado pela norma para condições críticas (500 lux). Ou seja, o uso desta película não é adequado para esta situação.

Na sala 252, os níveis de iluminância são constantes, bastante próximos entre si e inferiores aos da sala 251. Em função da película fumê sobre os vidros, os resultados obtidos apresentam níveis de iluminância próximos de zero, não chegando a 2 lux durante todo o período medido. Nesta sala a iluminação artificial se faz necessária constantemente, no período da manhã e da tarde, contribuindo com o aumento do consumo energético da edificação. Apesar da menor obstrução de céu visível, os níveis de iluminância são menores do que da sala com a janela voltada a norte. Isto indica que os elementos de proteção solar são desnecessários nessa orientação além de reduzirem os níveis de iluminância disponíveis.

Com relação à medição com iluminação natural mais artificial, os resultados obtidos para as salas 251 e 252, apresentam-se nos gráficos da Figura 4.16.

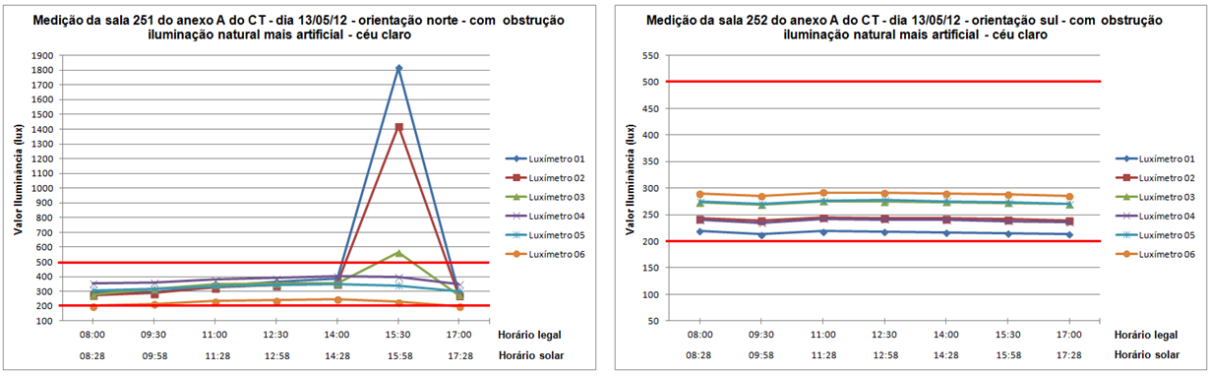


Figura 4.16 – Gráficos dos níveis de iluminância das salas de aula 251 e 252 do anexo A do CT, quando medida a iluminação natural mais artificial

Conforme os gráficos da Figura 4.16, na sala 251, nos pontos mais afastados das aberturas, os níveis são constantes e estão de acordo com o intervalo de referência (200 a 500 lux) durante todo dia. Nos pontos mais próximos, os níveis de iluminância são adequados até aproximadamente às 14:00h (horário legal), quando devido ao comportamento similar ao da medição com iluminação natural apenas, ultrapassam o mínimo recomendado pela norma para condições críticas (500 lux), mantendo-se assim até aproximadamente às 16:00h (horário legal), quando voltam a estar de acordo com os valores médios mínimos recomendadas pela norma.

Na sala 252, em todos os pontos os níveis estão de acordo com os valores médios mínimos recomendados pela norma (200 a 500 lux), durante todo dia, mostrando que para este caso, a iluminação artificial está adequada.

Ao comparar o comportamento das duas salas de aula, observa-se que a sala voltada a norte (251), mesmo com presença de obstrução solar na frente e na lateral das aberturas, apresenta níveis de iluminância mais elevados do que a sala voltada a sul (252), que só apresenta obstrução na lateral. Neste caso, a captação de iluminação natural parece ser prejudicada pelas películas e pelas superfícies horizontais junto aos peitoris das janelas e verticais, nas laterais, que direcionam a luz indireta para o interior da sala. Os níveis de iluminância acima do valor mínimo recomendado para condições críticas, verificados no período da tarde, na sala 251, podem causar desconforto aos usuários da sala. A presença da película fumê e da marquise não são capazes de controlar este efeito indesejável. Em ambas as salas, a iluminação natural é desfavorecida devido à presença da película fumê nos vidros das aberturas. Neste caso, se as películas fossem retiradas e as proteções solares

fossem adequadas, com uso de elementos de controle tais como cortinas móveis, a iluminação natural poderia ser melhor controlada levando ao uso mais eficiente da iluminação artificial durante todo dia na sala 252 e em grande parte dele na sala 251 o que diminuiria os gastos energéticos com iluminação e proporcionaria um ambiente mais agradável para os usuários.

4.2.2.2 Resultados dos dias 23/06/12 e 24/06/12

As medições dos dias 23/06/12 e 24/06/12, foram realizadas sob condição de céu claro, como mostram as fotografias da Figura 4.17, obtidas, respectivamente, no período da manhã, em torno de meio dia e durante a tarde.

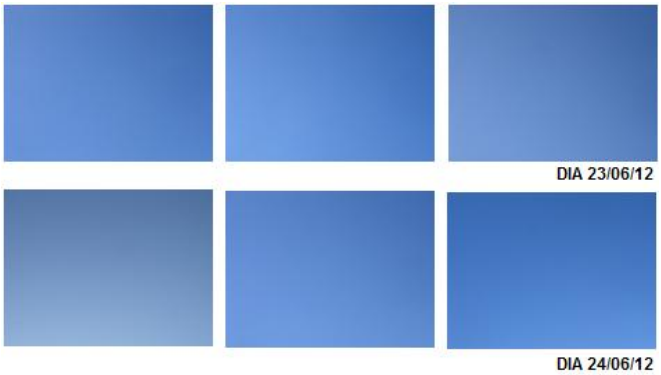


Figura 4.17 – Fotografias do céu obtidas ao longo dos dias 23/06/12 e 24/06/12

A Tabela 4.3 e a Tabela 4.4 mostram os coeficientes de CIN e os níveis de iluminância em lux, de cada ponto onde foram realizadas as medições das salas 251 e 252 respectivamente, no dia 24/06/12 quando foi medida apenas a iluminação natural.

Tabela 4.3 - Coeficientes de CIN e níveis de iluminância da sala 251

Dia 24/06/2012												
	Sala de aula 251											
Horário	Ponto 01		Ponto 02		Ponto 03		Ponto 04		Ponto 05		Ponto 06	
	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux
08:30	0,04%	6,32	0,04%	7,05	0,04%	7,5	0,01%	1,77	0,01%	1,74	0,01%	1,98
09:30	0,05%	13,81	0,06%	18,05	0,11%	33,7	0,03%	7,88	0,03%	8,02	0,04%	11,33
10:30	0,09%	36,34	0,14%	54,38	0,21%	82,2	0,05%	20,79	0,06%	24,4	0,10%	37,49
11:30	0,14%	64,79	0,17%	76,87	0,21%	95,85	0,07%	31,53	0,08%	36,58	0,11%	47,48
12:30	0,19%	84,33	0,19%	86,13	0,22%	97,48	0,09%	41,28	0,09%	42,4	0,11%	50,88
13:30	0,25%	98,94	0,22%	86,72	0,24%	92,63	0,13%	50,23	0,12%	46,53	0,13%	51,37
14:30	0,37%	111	0,32%	94,56	0,30%	88,8	0,19%	57,18	0,17%	50,33	0,16%	47,89
15:30	10,63%	1775	6,29%	1050	7,27%	1214	0,20%	33,5	0,15%	25,74	0,12%	20,82
16:30	0,23%	11,83	0,23%	12,06	0,25%	13,02	0,07%	3,49	0,07%	3,47	0,09%	4,72

De acordo com a Tabela 4.3, os níveis de iluminância correspondem aos coeficientes de CIN durante todo dia, em todos os pontos, pois os níveis de iluminância, na maior parte do dia, são menores do que os valores médios mínimos recomendados pela NBR 5413 (200 a 500 lux), sendo superiores a 500 lux apenas às 15:30h, nos pontos 01, 02 e 03, assim como os coeficientes de CIN, que também são inferiores ao que recomendam as normas internacionais (2 a 5%), em grande parte do tempo, excedendo esse intervalo, apenas às 15:30h, nos pontos 01, 02 e 03.

Tabela 4.4 - Coeficientes de CIN e níveis de iluminância da sala 252

Dia 24/06/2012												
	Sala de aula 252											
Horário	Ponto 01		Ponto 02		Ponto 03		Ponto 04		Ponto 05		Ponto 06	
	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux
08:30	0,00%	0,63	0,00%	0,52	0,00%	0	0,00%	0,05	0,00%	0,25	0,00%	0,28
09:30	0,00%	1,22	0,01%	1,62	0,00%	0,15	0,00%	0,43	0,00%	0,66	0,00%	0,65
10:30	0,00%	1,51	0,00%	1,48	0,00%	0,38	0,00%	0,83	0,00%	1,09	0,00%	1,02
11:30	0,00%	1,64	0,00%	1,59	0,00%	0,56	0,00%	1,04	0,00%	1,31	0,00%	1,26
12:30	0,00%	1,79	0,00%	1,6	0,00%	0,65	0,00%	1,15	0,00%	1,4	0,00%	1,36
13:30	0,00%	1,58	0,00%	1,43	0,00%	0,57	0,00%	1,0	0,00%	1,31	0,00%	1,31
14:30	0,00%	1,45	0,00%	1,41	0,00%	0,57	0,00%	0,84	0,00%	1,2	0,00%	1,28
15:30	0,01%	1,25	0,01%	1,24	0,00%	0,4	0,00%	0,62	0,01%	0,95	0,01%	1,04
16:30	0,02%	0,92	0,02%	0,89	0,00%	0,09	0,01%	0,3	0,01%	0,57	0,01%	0,64

Segundo a Tabela 4.4, em todos os pontos, os níveis de iluminância são inferiores ao que recomenda a NBR 5413 (200 a 500 lux), correspondendo aos valores de coeficientes de CIN, que também são menores do que o intervalo recomendados pelas referências adotadas neste estudo (2 a 5%).

A Figura 4.18 mostra a disposição das luminárias e a situação das lâmpadas nas salas de aula 251 e 252 do anexo A do CT, no dia 23/06/12, quando foi realizada a medição com iluminação natural mais artificial.

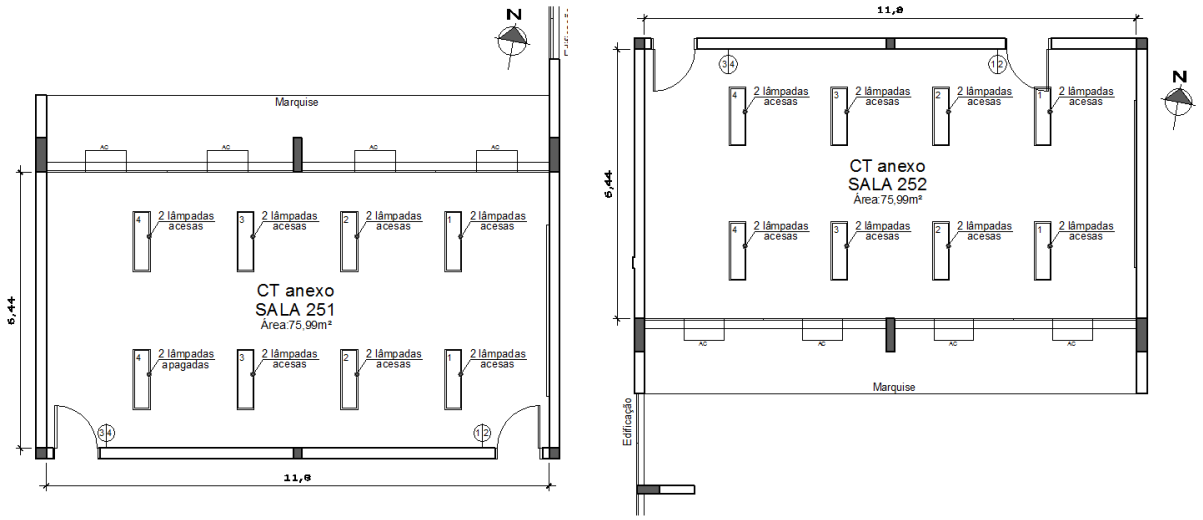


Figura 4.18 – Posição das luminárias e situação das lâmpadas nas salas 251 e 252 do anexo A do CT
Fonte: adaptado de UFSM (2011)

A Figura 4.19 apresenta os gráficos com os resultados obtidos para a sala 251 e 252, quando medida apenas a iluminação natural.

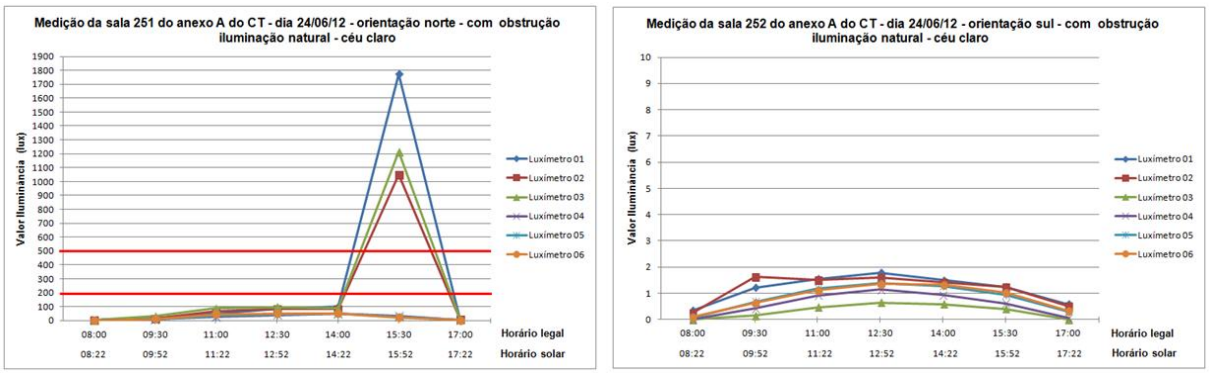


Figura 4.19 - Gráficos dos níveis de iluminância das salas de aula 251 e 252 do anexo A do CT quando medida apenas a iluminação natural

Em ambas as salas, os resultados encontrados para os dias de junho (Figura 4.14) são similares aos encontrados para os dias de maio (Figura 4.19).

De acordo com a Figura 4.19, na sala 251, nos pontos mais afastados das aberturas os níveis são baixos, menores do que os valores médios mínimos recomendados (200 a 500 lux), mostrando que a iluminação artificial é necessária, durante todo dia. Nos pontos mais próximos, os níveis também são baixos, porém não durante todo dia, somente até por volta das 14:00h (horário legal), quando a luz natural, em função da trajetória solar, incide diretamente nas aberturas elevando os níveis de iluminância, que ultrapassam o mínimo recomendado pela NBR 5413 para condições críticas (500 lux).

Na sala 252, observa-se níveis de iluminância com pouca variação, bastante próximos e abaixo dos valores médios mínimos recomendados pela NBR 5413 (200 a 500 lux). Os níveis são próximos de zero, em função da película fumê existente nos vidros das aberturas, não alcançando 2 lux durante todo período da medição, mostrando que nesta sala a iluminação artificial se faz necessária durante todo dia, levando ao aumento do consumo energético da edificação. Ou seja, a película, nesta situação é desnecessária e compromete a qualidade da iluminação natural.

Com relação à medição com iluminação natural mais artificial, os resultados obtidos para as salas 251 e 252, apresentam-se nos gráficos da Figura 4.20.

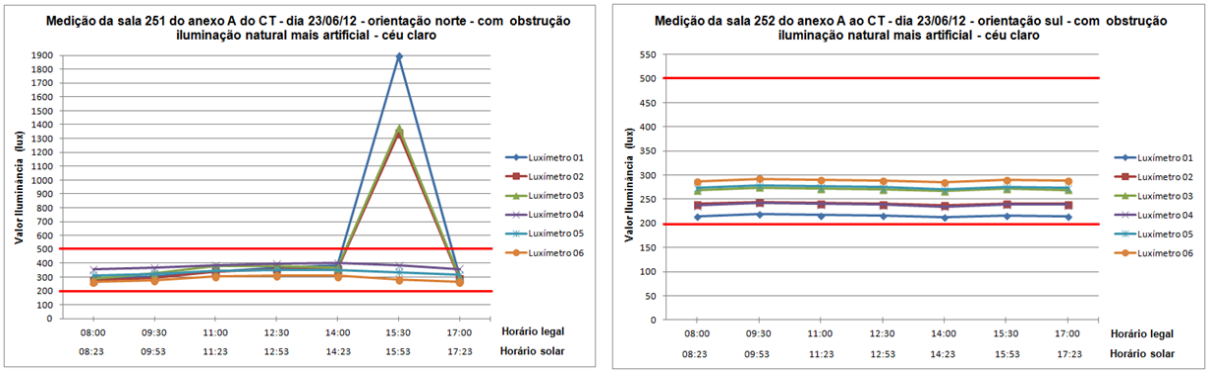


Figura 4.20 - Gráficos dos níveis de iluminância das salas de aula 251 e 252 do anexo A do CT, quando medida a iluminação natural mais artificial

Segundo a Figura 4.20, na sala 251, nos pontos mais afastados das aberturas, os níveis se encontram de acordo com os valores médios mínimos recomendados (200 a 500 lux) durante todo dia. Nos pontos mais próximos os níveis se encontram dentro do que recomenda a norma até aproximadamente 14:00h (horário legal), quando ocorre um comportamento semelhante ao da medição com iluminação natural apenas e os níveis se tornam superiores ao mínimo recomendado para condições críticas (500 lux), mantendo-se assim até aproximadamente às 16:50h (horário legal), quando voltam a estar dentro do intervalo de 200 a 500 lux.

Na sala 252, em todos os pontos, os níveis são constantes, com pouca variação e de acordo com os valores médios mínimos recomendados pela NBR 5413 (200 a 500 lux), durante todo dia, mostrando que a iluminação artificial, para este caso, está adequada.

Ao comparar o comportamento das duas salas de aula, observa-se que a sala voltada a sul (252), que possui obstrução apenas na lateral da edificação, apresenta níveis de iluminância menores do que a sala voltada a norte (251), que possui obstrução na lateral e na frente das aberturas. Os níveis de iluminância acima do valor mínimo recomendado para condições críticas, verificados no período da tarde, na sala 251, podem causar desconforto aos usuários da sala e a presença da película fumê e da marquise não é capaz de controlar este efeito indesejável. A iluminação natural é desfavorecida, em ambas as salas, devido à presença da película escura nos vidros das aberturas. Neste caso, se as proteções solares fossem adequadas e as películas escuras fossem retiradas, a iluminação natural seria favorecida e consequentemente não seria mais necessário o uso da iluminação

artificial em grande parte do dia na sala 251 e durante todo tempo na sala 252, o que proporcionaria um ambiente mais agradável aos usuários e diminuiria os gastos energéticos com iluminação.

4.3 Resultados das salas de aula do CCSH

4.3.1 Descrição e caracterização das salas de aula do CCSH

No CCSH foram selecionadas as salas 2265 e 2264, ambas no segundo pavimento, com áreas e características físicas semelhantes, porém com diferentes orientações solares, como mostra a Figura 4.21.

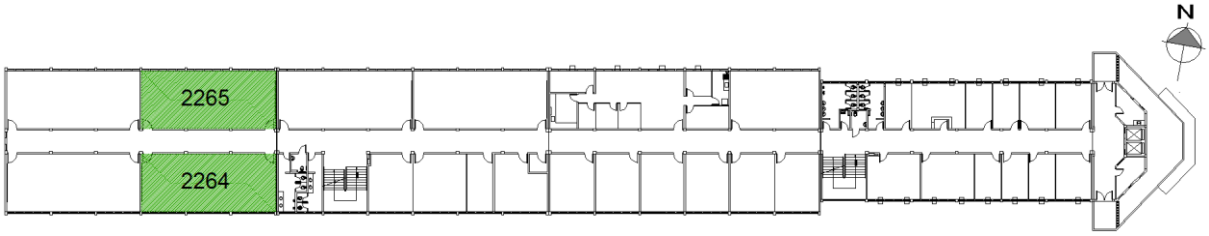


Figura 4.21 – Planta baixa esquemática do bloco do CCSH mostrando as salas de aula selecionadas
Fonte: adaptado de UFSM (2011)

Próximo ao CCSH existem duas edificações, como mostra a Figura 4.22, que parcialmente obstruem a visão de céu da sala 2265. No entanto, esta obstrução pode ser considerada desprezível. Em relação à sala 2264, não há obstruções causadas pelo entorno imediato.

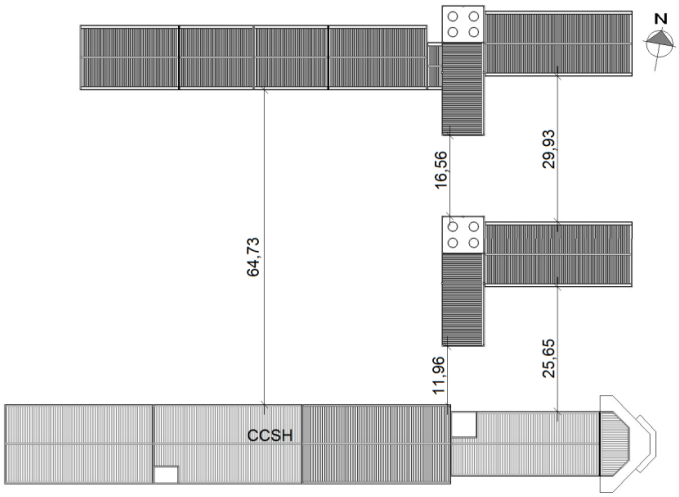


Figura 4.22 – Planta de cobertura esquemática do CCSH e das duas edificações mais próximas à ele
Fonte: adaptado de UFSM (2011)

4.3.1.1 Sala de aula 2265 e 2264

As salas de aula 2265 e 2264 possuem dimensões, disposição dos móveis e luminárias, altura das aberturas, desenho das proteções solares e posição onde os luxímetros foram instalados conforme mostram a Figura 4.23 e a Figura 4.24.

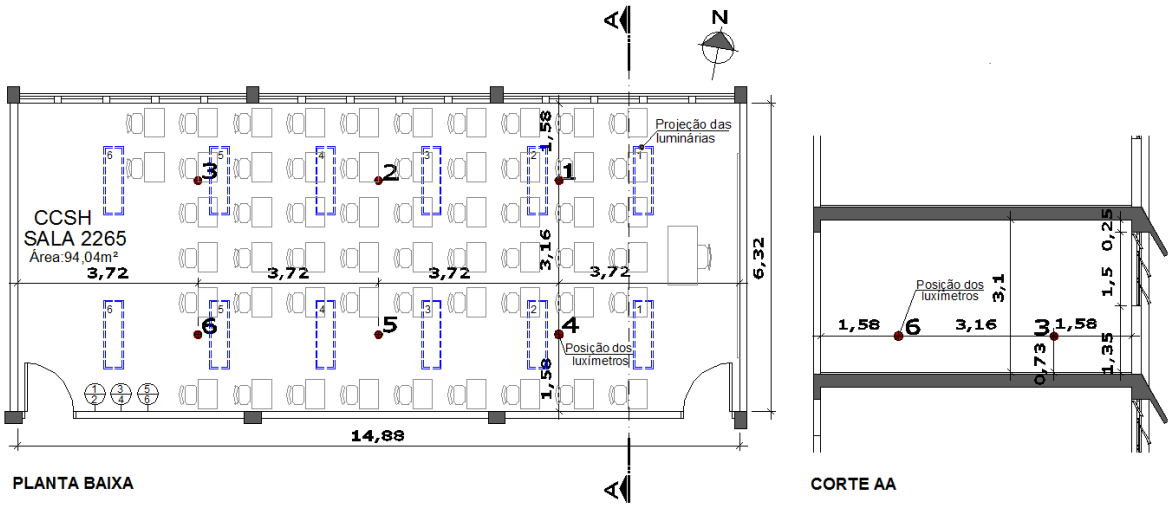


Figura 4.23 – Planta baixa e corte esquemáticos da sala de aula 2265 do CCSH
Fonte: adaptado de UFSM (2011)

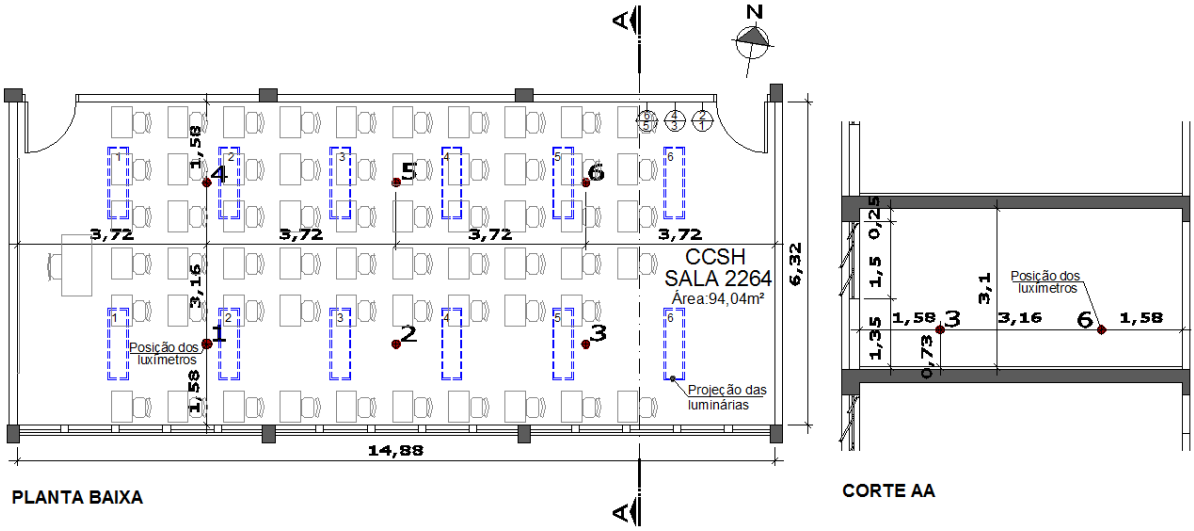


Figura 4.24 - Planta baixa e corte esquemáticos da sala de aula 2264 do CCSH
Fonte: adaptado de UFSM (2011)

Os ambientes possuem características físicas conforme mostram a Figura 4.25, a Figura 4.26 e o Quadro 4.2. De acordo com o que foi apresentado na Tabela 2.3, do item 2.4, da revisão bibliográfica, nestas salas, os coeficientes de reflexão do piso, do teto e das paredes estão de acordo com os valores recomendados para ambientes como os de sala de aula.

Figura 4.25 – Imagens da sala de aula 2265 do CCSH

Figura 4.26 – Imagens da sala de aula 2264 do CCSH

Características	Sala de aula 2265	Sala de aula 2264
Dimensões	14,88m x 6,32m x 3,10m	14,88m x 6,32m x 3,10m
Orientação solar	Norte	Sul
Cor do piso	Marrom / coeficiente de reflexão = 30%	Marrom / coeficiente de reflexão = 30%
Cor das paredes	Bege / coeficiente de reflexão = 50%	Bege / coeficiente de reflexão = 50%
Cor do teto	Branco / coeficiente de reflexão = 80%	Branco / coeficiente de reflexão = 80%
Cor do mobiliário	Verde claro / coeficiente de reflexão = 50%	Verde claro / coeficiente de reflexão = 50%
Cor do quadro	Verde escuro / coeficiente de reflexão = 25%	Verde escuro / coeficiente de reflexão = 25%
Aberturas	Basculante metálica, vidro incolor (sem película)	Basculante metálica, vidro incolor (sem película)
Proteção solar externa	Marquise inclinada de concreto pintado de azul coeficiente de reflexão = 30%	Não possui
Proteção solar interna	Cortina em tecido na cor azul	Cortina em tecido na cor azul
Obstrução externa	Edificação em frente às aberturas coeficiente de reflexão = 30%	Não Possui
Luminárias	12 calhas espelhadas suspensas em trilhos	12 calhas espelhadas suspensas em trilhos
Lâmpadas por luminária	2 fluorescentes de 32W	2 fluorescentes de 32W
Reator	Eletrônico 2x32W / perdas - 6W	Eletrônico 2x32W / perdas - 6W
Potência total	840W	840W

Quadro 4.2 – Características físicas das salas 2265 e 2264 do CCSH

A face externa das salas de aula possui revestimento em reboco pintado nas cores bege e azul. Na sala 2265, a edificação em frente às aberturas (obstrução) estava em construção no momento das medições, por isso as paredes estavam na cor de cimento, sem pintura, como mostra a Figura 4.27. Na sala 2264 não existe presença de obstrução, formada por edificação, em frente às aberturas, como mostra a Figura 4.28, há apenas vegetação arbustiva baixa.

Figura 4.27 – Imagens, respectivamente, da face externa da sala 2265 e da obstrução em frente às aberturas

Figura 4.28 - Imagens, respectivamente, da face externa da sala 2264 e do ambiente externo em frente às aberturas

As edificações em frente ao CCSH, que obstruem as aberturas da sala 2265, possuem 15,20m de altura, e estão, respectivamente, a 11,96m e 64,73m de distância do CCSH, como mostra a Figura 4.29.

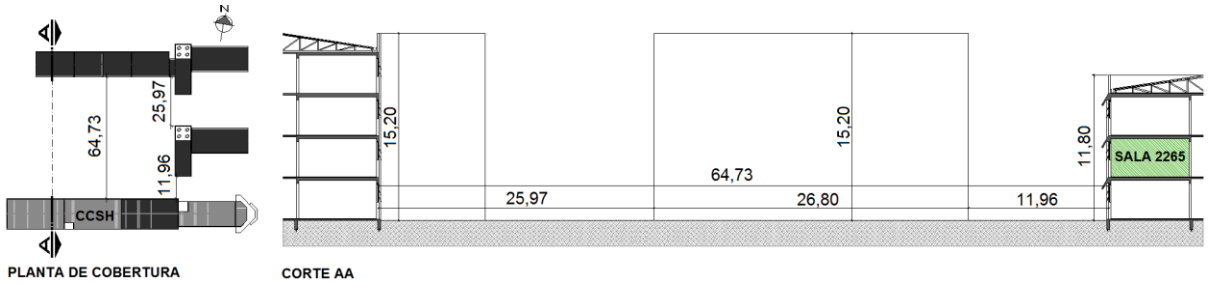


Figura 4.29 – Planta de cobertura e corte esquemático, mostrando a distância e a altura das edificações que obstruem as aberturas da sala 2265
Fonte: adaptado de UFSM (2011)

A Figura 4.30 e a Figura 4.31 mostram as máscaras de obstrução desenvolvidas, para cada ponto onde foram instalados os luxímetros, com suas respectivas porcentagens de obstrução do céu visível, devido aos pilares existentes entre as aberturas e a edificação em frente ao CCSH para a sala 2265, orientação norte e para a sala 2264, orientação sul.

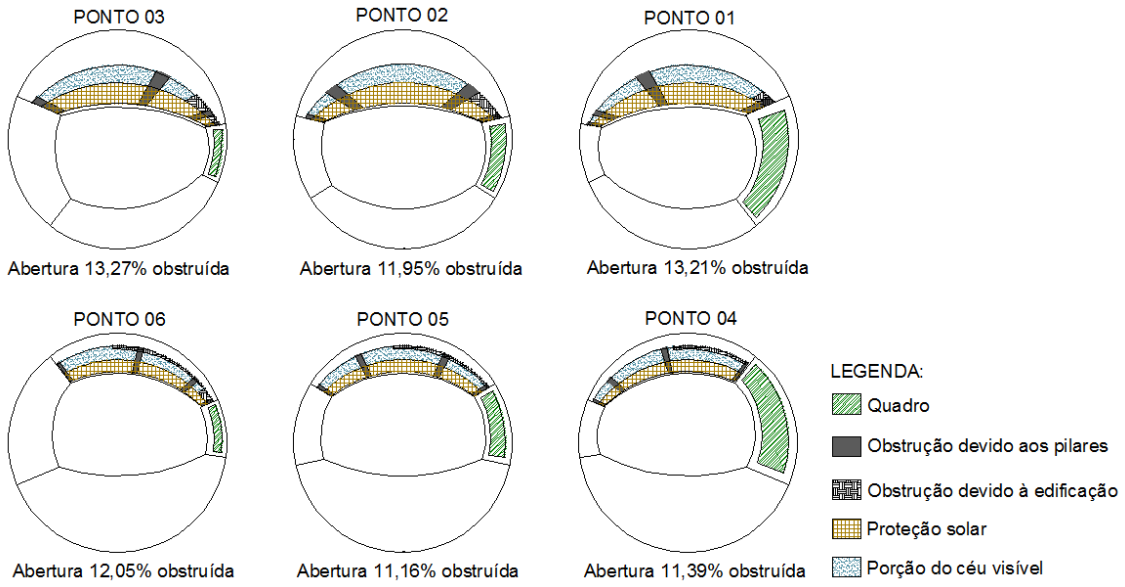


Figura 4.30 – Máscara de obstrução de cada ponto onde foram realizadas as medições da sala 2265

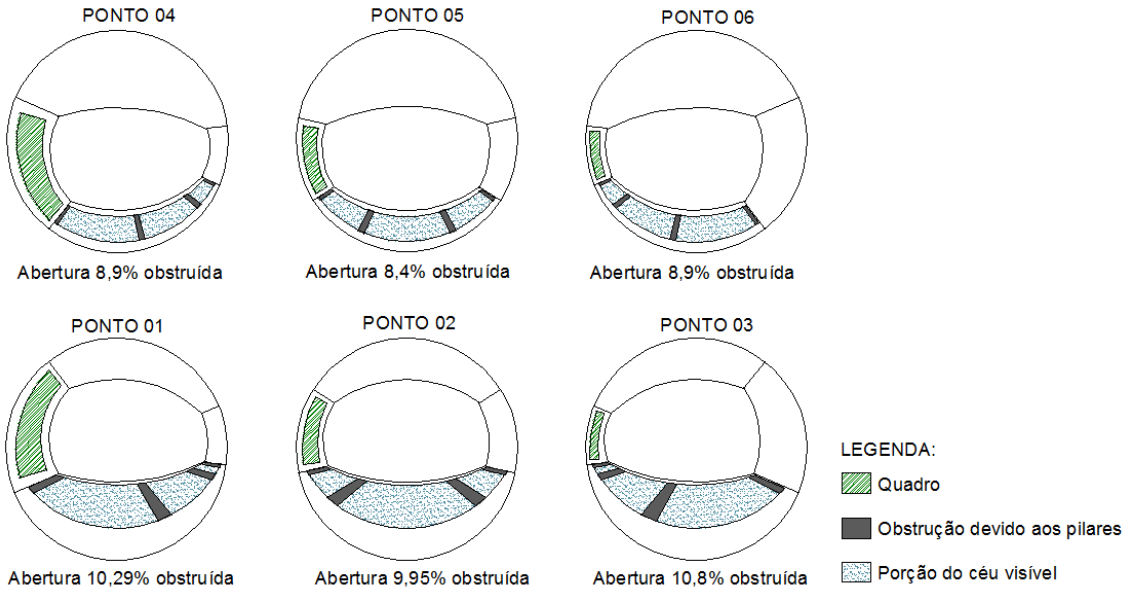


Figura 4.31 – Máscara de obstrução de cada ponto onde foram realizadas as medições da sala 2264

4.3.2 Medições das salas 2265 e 2264 do CCSH

As medições das salas de aula 2264 e 2265 do CCSH foram tomadas nos finais de semana dos dias 31/03/12, 01/04/12 e 07/04/12 e 08/04/12 sob condição de céu claro e 17/07/12 e 04/08/12, sob condição de céu nublado.

4.3.2.1 Resultados dos dias 31/03/12 e 01/04/12

As medições dos dias 31/03/12 e 01/04/12 foram realizadas sob condição de céu claro, como mostram as fotografias da Figura 4.32, obtidas, respectivamente, no período da manhã, em torno de meio dia e durante a tarde.

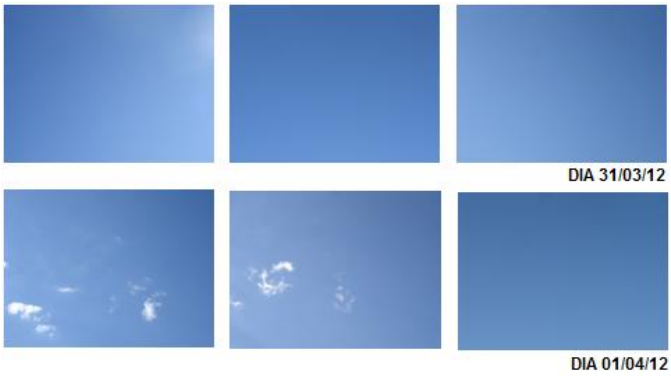


Figura 4.32 - Fotografias do céu obtidas ao longo dos dias 31/03/12 e 01/04/12

A Tabela 4.5 e a Tabela 4.6 mostram os coeficientes de CIN estimados e os níveis de iluminância medidos, em lux, de cada ponto onde foram realizadas as medições das salas 2265 e 2264 respectivamente, no dia 01/04/12 quando foi medida apenas a iluminação natural.

Tabela 4.5 - Coeficientes de CIN e níveis de iluminância da sala 2265

Dia 01/04/2012												
Horário	Sala de aula 2265											
	Ponto 01		Ponto 02		Ponto 03		Ponto 04		Ponto 05		Ponto 06	
	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux
08:30	0,85%	264,6	1,33%	412,1	1,36%	420,1	0,52%	160	0,59%	182,1	0,67%	207
09:30	0,83%	369,3	1,27%	567,9	1,28%	569,1	0,49%	218,7	0,56%	248,9	0,63%	282,4
10:30	0,82%	455,3	1,26%	698,9	1,25%	688,9	0,48%	263,5	0,54%	299,9	0,61%	339,1
11:30	0,86%	525,8	1,29%	792	1,26%	771,7	0,48%	296,5	0,55%	336,8	0,62%	377,3
12:30	0,97%	596,1	1,46%	893,8	1,42%	871,4	0,58%	358	0,65%	398,3	0,72%	440,6
13:30	1,21%	670,3	1,78%	985	1,66%	918	0,68%	376,7	0,76%	419,6	0,82%	455
14:30	1,65%	736,4	2,35%	1048	2,24%	997	0,90%	401,5	0,99%	443,2	1,07%	475,1
15:30	2,24%	694	3,28%	1016	3,23%	1002	1,24%	383,6	1,32%	408,2	1,37%	424,7
16:30	4,00%	635,8	5,58%	887,7	6,23%	990	2,23%	354,2	2,19%	348,8	2,18%	347,4

Segundo a Tabela 4.5, em grande parte do tempo avaliado, os coeficientes de CIN não correspondem aos níveis de iluminância, pois enquanto os níveis de iluminância estão de acordo com a NBR 5413 (200 a 500 lux) e são superiores ao valor mínimo recomendado para condições críticas (500 lux), os coeficientes de CIN

são baixos, não alcançando, em grande parte, o intervalo recomendado pelas referências internacionais (2 a 5%). No ponto 01, às 15:30h e nos pontos 02 e 03, das 14:30h até às 15:30h os coeficientes de CIN, se enquadram no intervalo recomendado (2 a 5%), porém também não correspondem aos níveis de iluminância pois nestes horários eles são superiores a 500 lux. Os coeficientes de CIN, correspondem aos níveis de iluminância, apenas as 16:30h, em todos os pontos, quando estão de acordo ou são superiores ao que recomendam as normas internacionais (2 a 5%), assim como os níveis de iluminância, que são superiores ou estão dentro do intervalo de 200 a 500 lux. Considerando-se esses resultados, há necessidade de estudos que definam referências de valores de CIN para condições de céu típicas do Brasil.

Tabela 4.6 - Coeficientes de CIN e níveis de iluminância da sala 2264

Dia 01/04/2012												
Horário	Sala de aula 2264											
	Ponto 01		Ponto 02		Ponto 03		Ponto 04		Ponto 05		Ponto 06	
	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux
08:30	1,37%	425,5	1,67%	517,2	1,35%	419,1	0,39%	121,4	0,51%	157,1	0,43%	132,3
09:30	0,99%	442,8	1,21%	540,6	1,00%	447,4	0,32%	143,6	0,43%	191,4	0,36%	162,5
10:30	0,79%	439,3	0,96%	528,4	0,80%	443,2	0,28%	153,9	0,37%	204,7	0,31%	173,4
11:30	0,71%	435,9	0,84%	514,9	0,70%	428,2	0,27%	163,4	0,35%	212,5	0,29%	178,4
12:30	0,70%	427,1	0,82%	504,4	0,68%	418,6	0,27%	167,5	0,35%	214,7	0,29%	178,9
13:30	0,98%	542,8	1,09%	600,7	0,91%	504	0,37%	206,6	0,45%	249,3	0,38%	209,9
14:30	0,94%	418,7	1,13%	503,5	0,93%	416,1	0,37%	165,2	0,47%	209,5	0,39%	172,6
15:30	1,28%	397,6	1,52%	472	1,25%	386,7	0,47%	146,3	0,60%	184,6	0,49%	150,4
16:30	2,35%	373,2	2,78%	441,6	2,25%	358,2	0,78%	123,3	0,97%	154,2	0,78%	124,8

De acordo com a Tabela 4.6, os níveis de iluminância correspondem aos coeficientes de CIN, apenas às 16:30h, nos pontos 01, 02 e 03, das 08:30h às 12:30h e após às 14:30h nos pontos 04 e 06 e das 08:30h às 09:30h e após às 15:30h no ponto 05, pois no restante do tempo, enquanto os coeficientes de CIN, são inferiores ao que recomendam as normas internacionais (2 a 5%), os níveis de iluminância são superiores a 500 lux ou se encontram de acordo com os valores médios mínimos recomendados pela NBR 5413 (200 a 500 lux).

A Figura 4.33 mostra a disposição das luminárias e a situação das lâmpadas nas salas de aula 2265 e 2264 do CCSH, no dia 31/03/12, quando foi realizada a medição com iluminação natural mais artificial.

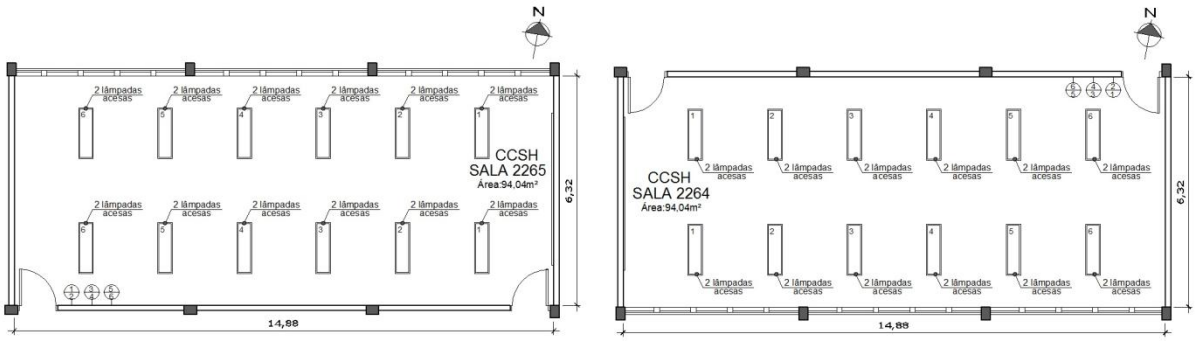


Figura 4.33 – Posição das luminárias e situação das lâmpadas nas salas 2265 e 2264 do CCSH
Fonte: adaptado de UFSM (2011)

A Figura 4.34 apresenta os gráficos com os resultados obtidos para a sala 2265 e 2264 quando medida apenas a iluminação natural.

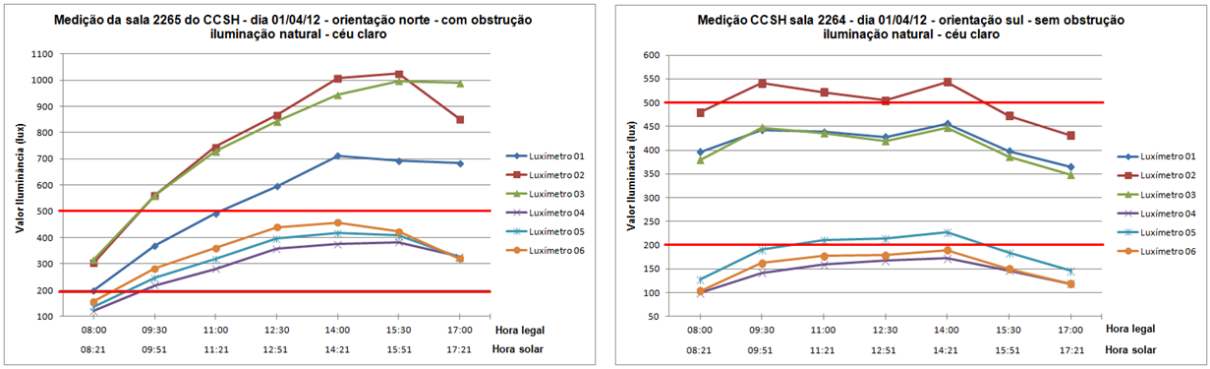


Figura 4.34 - Gráficos dos níveis de iluminância das salas de aula 2265 e 2264 do CCSH, quando medida apenas a iluminação natural

De acordo com os gráficos da Figura 4.34, em ambas as salas, quando medida apenas a iluminação natural, conforme esperado, há uma redução dos níveis de iluminância à medida que os pontos se afastam das aberturas.

Na sala 2265, em todos os pontos os níveis crescem ao longo do dia e decaem somente após as 14h (horário legal). Com relação à iluminância em função da distância da parede em que se encontra o quadro, nos pontos 01 e 04 (mais próximos ao quadro), os níveis são menores do que nos pontos mais afastados, provavelmente devido ao fato de que o quadro ocupa boa parte da parede e possui baixo coeficiente de reflexão (menor do que das paredes). Nas regiões mais próximas às aberturas, os níveis de iluminância, mesmo com presença de proteção solar, são superiores ao mínimo recomendado pela norma para condições críticas (500 lux) em grande parte do tempo, estando dentro dos valores médios mínimos recomendados (200 a 500 lux) apenas até cerca de 9:00h (horário legal) nos pontos 02 e 03 e 11:00h no ponto 01 (horário legal), mostrando que nestes pontos não é necessário o uso da iluminação artificial e a natural precisa ser controlada a fim de evitar um possível desconforto visual. Nos pontos mais afastados das aberturas, os níveis de iluminância estão dentro do que recomenda a norma, em grande parte do tempo, permanecendo abaixo de 200 lux e necessitando do uso da iluminação artificial apenas até cerca de 9:00h (horário legal). A distribuição da luz natural não é simétrica em relação às 12 horas (horário solar), comportamento esperado.

Na sala de aula 2264, diferentemente da 2265, os níveis de iluminância não são menores nos pontos mais próximos à parede onde se encontra o quadro, neste ambiente, os níveis são maiores nos pontos 02 e 05, localizados mais ao centro da sala, do que nos pontos 01 e 03 e 04 e 06, localizados mais próximos aos cantos do ambiente, fato que ocorre provavelmente devido a orientação solar da sala (sul). Com relação à avaliação dos níveis de iluminância em função da distância das aberturas, o que se observa é que nos pontos mais próximos às janelas, os níveis estão de acordo com os valores médios mínimos recomendados (200 a 500 lux) durante todo dia nos pontos 01 e 03 e no ponto 02 até aproximadamente 9:00h (horário legal), quando ultrapassam o mínimo recomendado para condições críticas (500 lux) e após as 15:00h (horário legal), quando retornam a valores abaixo de 500 lux, mostrando que nestes pontos, durante todo dia, a iluminação artificial não se faz necessária. Já nos pontos mais afastados das aberturas, o que se observa são níveis abaixo do que recomenda a norma durante todo dia nos pontos 04 e 06 e até por volta das 10:30h (horário legal) e após aproximadamente 15:00h (horário legal) no ponto 05, mostrando que nestes pontos, ao contrário dos mais próximos das aberturas, a iluminação artificial se faz necessária.

Com relação à medição com iluminação natural mais artificial, os resultados obtidos para as salas 2265 e 2264, apresentam-se nos gráficos da Figura 4.35.

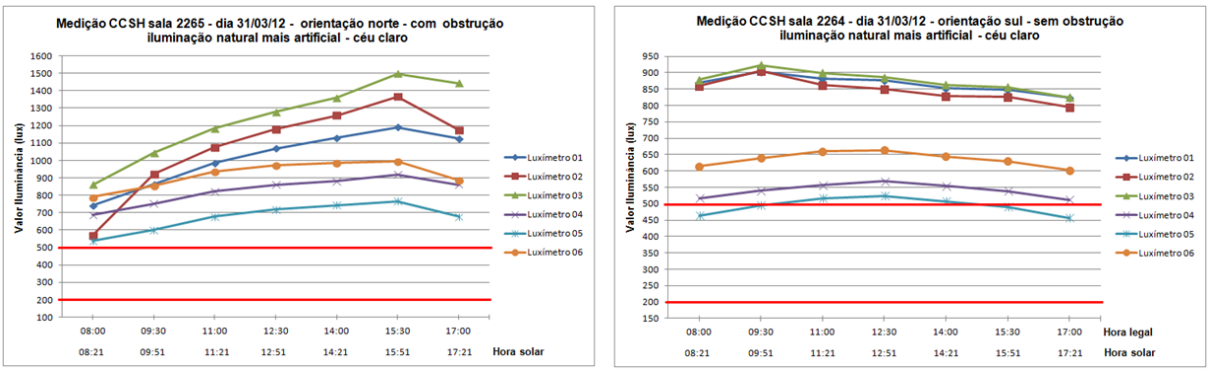


Figura 4.35 - Gráficos dos níveis de iluminância das salas de aula 2265 e 2264 do CCSH, quando medida a iluminação natural mais artificial

Conforme os gráficos da Figura 4.35, na sala 2265, em todos os pontos, os níveis são superiores ao mínimo recomendado para condições críticas (500 lux) durante todo dia, mostrando que há um gasto desnecessário de energia elétrica e, além disso, que os altos níveis de iluminância podem ocasionar desconforto visual aos usuários.

Na sala 2264, em todos os pontos mais próximos das janelas, os níveis foram superiores ao mínimo recomendado para condições críticas (500 lux), durante todo dia, mostrando que há um gasto desnecessário de energia elétrica nestes pontos e, além disso, que os altos níveis de iluminância podem ocasionar desconforto visual aos usuários. Nos pontos mais afastados das aberturas, os níveis também se mostraram superiores a 500 lux nos pontos 04 e 06, durante todo dia e no ponto 05 após aproximadamente 9:30h até 15:30h (horário legal).

Ao comparar os resultados obtidos nas duas salas de aula, observa-se que a sala voltada a sul (2264), mesmo sem presença de obstrução solar, apresenta menores níveis de iluminância e uma distribuição mais uniforme do que a sala voltada a norte (2265), com presença de obstrução e proteção solar (marquise inclinada). Os resultados, neste caso, apontam que o tratamento das aberturas, quando feito de um modo equivocado, podem levar a um mal dimensionamento das mesmas e das proteções solares. Para ambientes voltados a norte, como a sala

2265, as aberturas com proteções solares inadequadas não conseguem evitar os excessos de iluminação natural, principalmente nas regiões mais próximas das aberturas, obrigando ao fechamento das cortinas e com isso o possível acionamento da iluminação artificial. Para ambientes voltados a sul, as aberturas não conseguem proporcionar níveis adequados de iluminância nas regiões mais afastadas das janelas, o que causa o acionamento de toda a iluminação artificial do ambiente, já que, neste caso, a sala não possui circuito de acionamento independente, nas luminárias mais afastadas das aberturas.

4.3.2.2 Resultados dos dias 07/04/12 e 08/04/12

As medições dos dias 07/04/12 e 08/04/12, foram realizadas sob condição de céu claro, como mostram as fotografias da Figura 4.36, obtidas, respectivamente, no período da manhã, em torno de meio dia e durante a tarde.

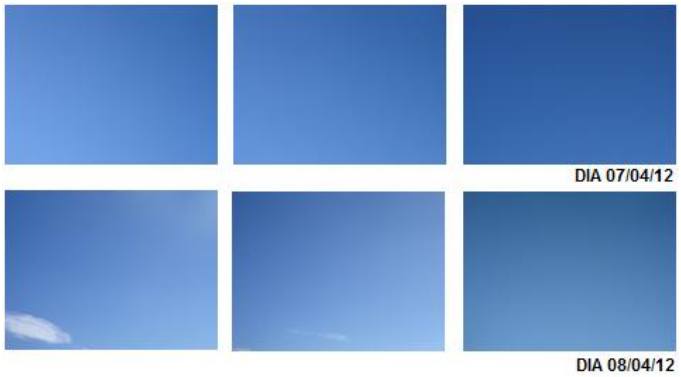


Figura 4.36 - Fotografias do céu obtidas ao longo dos dias 07/04/12 e 08/04/12

A Tabela 4.7 e a Tabela 4.8 mostram os coeficientes de CIN e os níveis de iluminância em lux, de cada ponto onde foram realizadas as medições das salas 2265 e 2264 respectivamente, no dia 08/04/12 quando foi medida apenas a iluminação natural.

Tabela 4.7 - Coeficientes de CIN e níveis de iluminância da sala 2265

Dia 08/04/2012												
Horário	Sala de aula 2265											
	Ponto 01		Ponto 02		Ponto 03		Ponto 04		Ponto 05		Ponto 06	
	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux
08:30	1,35%	414	1,42%	435	1,10%	338,8	0,67%	206,7	0,63%	193,7	0,63%	193,3
09:30	1,31%	588,8	1,38%	617,5	1,05%	472	0,63%	284,5	0,60%	269,7	0,59%	266,8
10:30	1,28%	715,5	1,35%	754,6	1,02%	570,3	0,61%	342,8	0,58%	324,2	0,57%	318,6
11:30	1,30%	807,9	1,38%	856,1	1,04%	648,9	0,62%	386,1	0,58%	363,2	0,57%	355,6
12:30	1,43%	891,8	1,51%	940,1	1,18%	731,5	0,69%	426,1	0,64%	397,3	0,63%	390,5
13:30	1,81%	1011	1,94%	1085	1,55%	867,1	0,86%	479,1	0,80%	447,1	0,79%	442,4
14:30	2,37%	1065	2,60%	1167	2,08%	935,7	1,14%	511,8	1,05%	471,1	1,03%	461,5
15:30	3,56%	1092	4,05%	1242	3,33%	1021	1,81%	556,1	1,57%	482,6	1,44%	442,5
16:30	9,72%	1458	7,73%	1159	10,7%	1606	3,51%	526,4	2,90%	435,2	2,55%	382,8

De acordo com a Tabela 4.7, os níveis de iluminância correspondem aos coeficientes de CIN, apenas às 16:30h nos pontos 01, 02, 03, 05 e 06, pois no restante do dia, enquanto os níveis são superiores ao mínimo recomendado para condições críticas (500 lux), ou estão de acordo com os valores médios mínimos recomendados pela norma (200 a 500 lux), os coeficientes de CIN são inferiores ao que recomendam as normas internacionais (2 a 5%), além disso, nos pontos 01, 02 e 03, das 14:30h até às 15:30h e no ponto 04 às 16:30h os coeficientes de CIN, se enquadram no intervalo recomendado, porém também não correspondem aos níveis de iluminância pois nestes horários eles são superiores a 500 lux.

Tabela 4.8 - Coeficientes de CIN e níveis de iluminância da sala 2264

Dia 08/04/2012												
Horário	Sala de aula 2264											
	Ponto 01		Ponto 02		Ponto 03		Ponto 04		Ponto 05		Ponto 06	
	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux
08:30	1,22%	374,6	1,40%	430,1	1,19%	365,6	0,39%	120,5	0,51%	157,4	0,45%	137,9
09:30	0,90%	405,8	1,04%	468,1	0,90%	405,2	0,33%	148,3	0,43%	194,8	0,38%	171
10:30	0,73%	408,1	0,83%	466,5	0,73%	406,8	0,29%	163,4	0,38%	211,2	0,33%	185
11:30	0,66%	409,9	0,75%	464,4	0,64%	399,5	0,28%	175	0,35%	219,4	0,30%	189,4
12:30	0,65%	402	0,74%	461,7	0,63%	394	0,29%	180	0,36%	221,9	0,30%	189,5
13:30	0,69%	386,3	0,79%	443	0,68%	378,7	0,32%	177	0,38%	215	0,32%	181,1
14:30	0,83%	374,9	0,96%	432,3	0,82%	368,2	0,38%	168,5	0,45%	202,3	0,38%	169,6
15:30	1,18%	362,6	1,36%	417,2	1,15%	353	0,50%	152,1	0,59%	181,6	0,49%	150
16:30	2,28%	342,6	2,63%	394,2	2,20%	330,5	0,85%	127,7	0,99%	148,6	0,81%	120,8

Segundo a Tabela 4.8, os níveis de iluminância correspondem aos coeficientes de CIN, às 16:30h, nos pontos 01, 02 e 03, quando tanto os níveis de iluminância, quando os coeficientes de CIN, estão de acordo com os intervalos recomendados pelas suas respectivas normas (200 a 500 lux e 2 a 5%) e nos pontos 04 e 06 durante todo dia e no ponto 05 das 08:30h às 09:30h e das 15:30h às 16:30h, quando tanto os níveis de iluminância quanto os coeficientes de CIN são inferiores aos valores assumidos como referência. No restante do dia, enquanto os níveis de iluminância estão de acordo com os valores médios mínimos recomendados (200 a 500 lux), os coeficientes de CIN, são inferiores ao que recomendam as normas internacionais (2 a 5%).

A Figura 4.37 mostra a disposição das luminárias e a situação das lâmpadas nas salas de aula 2265 e 2264 do CCSH, no dia 07/04/12, quando foi realizada a medição com iluminação natural mais artificial.

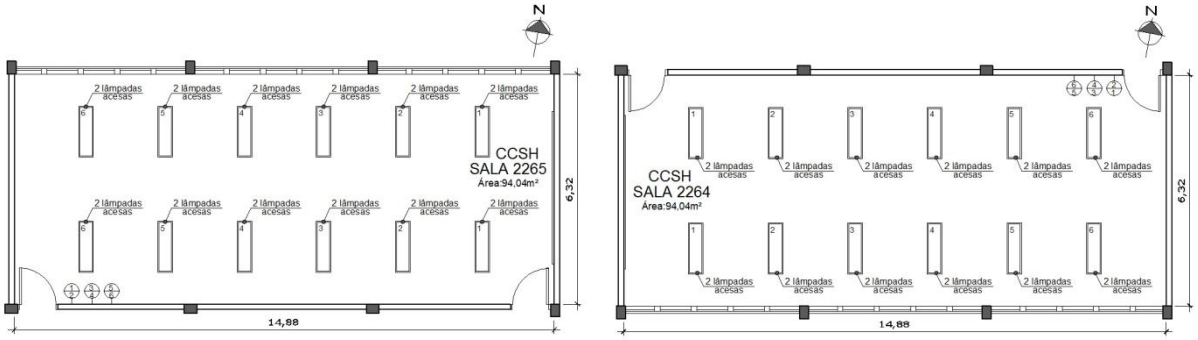


Figura 4.37 – Posição das luminárias e situação das lâmpadas nas salas 2265 e 2264 do CCSH
Fonte: adaptado de UFSM (2011)

A Figura 4.38 apresenta os gráficos com os resultados obtidos para a sala 2265 e 2264 quando medida apenas a iluminação natural.

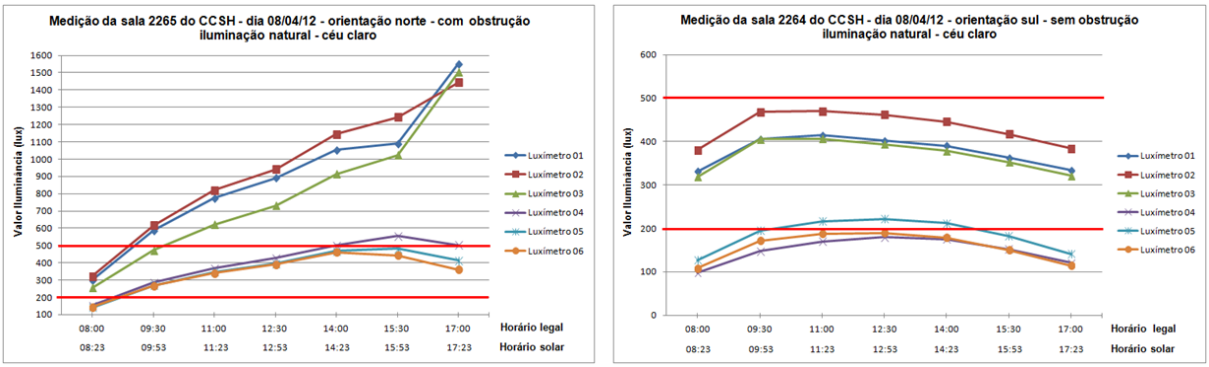


Figura 4.38 – Gráficos dos níveis de iluminância das salas de aula 2265 e 2264 do CCSH, quando medida apenas a iluminação natural

Conforme os gráficos da Figura 4.38, observa-se que em ambas as salas, quando analisada a iluminação natural apenas, conforme esperado, os níveis de iluminância são maiores nos pontos mais próximos das aberturas, do que nos mais afastados.

Na sala 2265, nos pontos mais próximos, os níveis de iluminância estão de acordo com os valores médios mínimos recomendados (200 a 500 lux), apenas até aproximadamente 9:30h (horário legal), após este horário, os níveis se tornam superiores ao mínimo recomendado para condições críticas (500 lux), podendo causar desconforto visual. Nos pontos mais afastados das aberturas, os níveis se mostraram abaixo do que recomenda a norma, sendo necessário o uso de iluminação artificial até por volta das 8:30h (horário legal) apenas, após, os níveis se mantém dentro do que recomenda a norma durante todo dia nos pontos 05 e 06 e até aproximadamente 14:00h (horário legal), no ponto 04, quando ultrapassa o mínimo recomendado para condições críticas.

Na sala 2264, nos pontos mais próximos os níveis de iluminância estão de acordo com as médias mínimas recomendadas pela NBR 5413 (200 a 500 lux), durante todo dia, não sendo necessário o uso de iluminação artificial, além disso, o que se observa, é que no ponto 02, localizado mais ao centro da sala, os níveis de iluminância são superiores aos dos pontos 01 e 03, localizados mais nos cantos, provavelmente em função da orientação solar da sala (sul). Nos pontos mais afastados das aberturas, acontece o mesmo, ou seja, os níveis de iluminância no ponto 05 são superiores aos dos pontos 04 e 06, além disso, ponto 05, os níveis se encontram de acordo com o que recomenda a norma, no período entre

aproximadamente 09:30h e 14:30h (horário legal), enquanto que nos pontos 04 e 06, se mantém abaixo durante todo dia.

Com relação à medição com iluminação natural mais artificial, os resultados obtidos para as salas 2265 e 2264, apresentam-se nos gráficos da Figura 4.39.

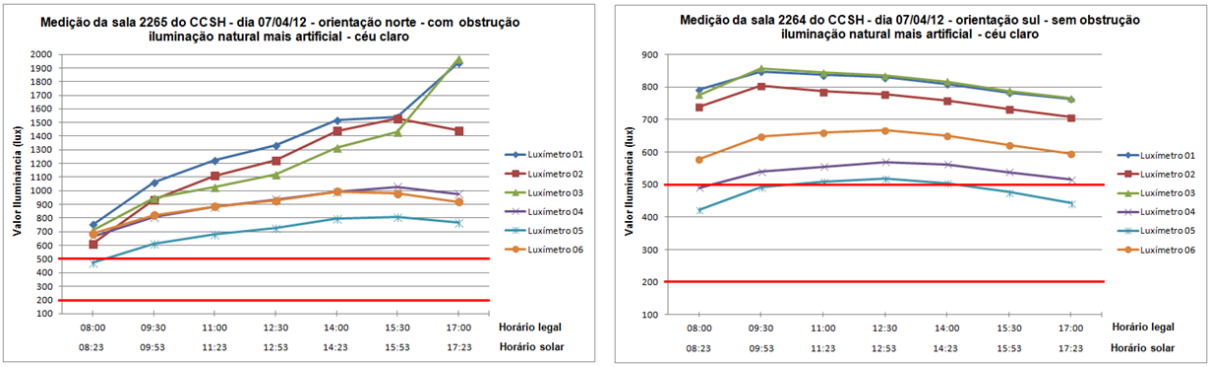


Figura 4.39 – Gráficos dos níveis de iluminância das salas de aula 2265 e 2264 do CCSH, quando medida a iluminação natural mais artificial

De acordo com os gráficos da Figura 4.39, na sala 2265, no ponto 05, mais afastado das aberturas, os níveis de iluminância se mantiveram dentro dos valores médios mínimos recomendados pela norma (200 a 500 lux), até aproximadamente 08:15h (horário legal), quando se tornaram superiores ao mínimo recomendado para condições críticas (500 lux). Nos demais pontos, tanto nos mais afastados quanto nos mais próximos das aberturas os níveis se mostraram superiores a 500 lux durante todo dia, mostrando que há um gasto desnecessário de energia elétrica e, além disso, que os altos níveis de iluminância podem ocasionar desconforto visual aos usuários.

Na sala 2264, em todos os pontos mais próximos das aberturas, os níveis são superiores ao mínimo recomendado para condições críticas (500 lux), mostrando que nestes pontos, para esta situação, há um gasto desnecessário de energia elétrica e, além disso, que os altos níveis de iluminância podem ocasionar desconforto visual aos usuários. Nos pontos mais afastados das aberturas os níveis também são superiores a 500 lux após as 09:30h, até as 14:00h (horário legal) no ponto 05 e durante todo dia, nos pontos 04 e 06.

Ao comparar o comportamento das duas salas de aula, observa-se que a sala voltada a norte (2265) mesmo com presença de obstrução e proteção solar, apresenta níveis de iluminância maiores do que a sala voltada a sul (2264) que não as possui, evidenciando o fato de que os ambientes com aberturas voltadas a norte, devido à sua orientação solar, são mais favorecidos pela iluminação natural dos que os voltados a sul. Os resultados apontam, neste caso, que o tratamento equivocado das aberturas e das proteções solares levam a um dimensionamento desfavorável das mesmas, criando, para orientação sul, aberturas que não proporcionam níveis adequados de iluminância em todo ambiente e para norte aberturas com proteções solares que não conseguem evitar os excessos. No caso da sala 2265 (orientação norte), os altos níveis de iluminância, podem causar desconforto visual, obrigando os usuários a fecharem as cortinas e possivelmente acionarem a iluminação artificial do ambiente, já na sala 2264 (orientação sul), os baixos níveis, nos locais mais afastados das aberturas, criam a necessidade do uso da iluminação artificial apenas nestas regiões, o que causaria redução no consumo de energia se o circuito da iluminação artificial fosse paralela às aberturas e não ao quadro.

4.3.2.3 Resultados dos dias 17/07/12 e 04/08/12

As medições dos dias 17/07/12 e 04/08/12, foram realizadas sob condição de céu parcialmente encoberto, como mostram as fotografias da Figura 4.40, obtidas, respectivamente, no período da manhã, em torno de meio dia e durante a tarde.

Figura 4.40 - Fotografias do céu obtidas ao longo dos dias 17/07/12 e 04/08/12

A Tabela 4.9 e a Tabela 4.10 mostram os coeficientes de CIN e os níveis de iluminância em lux, de cada ponto onde foram realizadas as medições das salas 2265 e 2264 respectivamente, no dia 04/08/12 quando foi medida apenas a iluminação natural.

Tabela 4.9 - Coeficientes de CIN e níveis de iluminância da sala 2265

Dia 04/08/2012												
Horário	Sala de aula 2265											
	Ponto 01		Ponto 02		Ponto 03		Ponto 04		Ponto 05		Ponto 06	
	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux
08:30	0,42%	106,5	0,51%	130,2	0,46%	117	0,11%	26,81	0,13%	33,97	0,11%	28,57
09:30	0,94%	383,6	1,14%	465	1,15%	467,2	0,38%	153,1	0,48%	193,9	0,41%	167,8
10:30	0,86%	455,8	0,98%	518,3	0,95%	501,3	0,21%	108,9	0,26%	136,5	0,22%	114,7
11:30	1,10%	649,2	1,31%	775,9	1,24%	733,4	0,37%	221	0,47%	276,6	0,40%	236,2
12:30	0,91%	537,3	1,12%	665,3	1,13%	669,5	0,37%	219,1	0,48%	284	0,42%	247
13:30	2,17%	1142	2,72%	1431	2,39%	1258	0,65%	343,2	0,80%	419,7	0,67%	351
14:30	2,72%	1109	3,44%	1403	3,12%	1271	0,75%	305,7	0,94%	382,7	0,80%	328,2
15:30	3,45%	874	5,61%	1419	8,14%	2059	0,88%	221,4	1,09%	276,1	0,95%	241,5
16:30	7,81%	773,4	6,29%	622,8	4,50%	445,9	1,60%	158,4	1,91%	188,6	1,62%	160,7

De acordo com a Tabela 4.9 os níveis de iluminância correspondem aos coeficientes de CIN, apenas às 16:30h em todos os pontos, às 15:30h nos pontos 02 e 03 e das 08:30 às 10:30h, nos pontos 04, 05 e 06, pois em grande parte do restante do dia, enquanto os níveis de iluminância estão de acordo com os valores médios mínimos recomendados pela norma (200 a 500 lux) ou são superiores ao mínimo recomendado para condições críticas (500 lux), os coeficientes de CIN são inferiores aos valores assumidos como referência (2 a 5%). No ponto 01, das 13:30h às 15:30h e nos pontos 02 e 03, das 13:30 às 14:30h, os coeficientes de CIN se enquadram no intervalo recomendado pelas normas internacionais (2 a 5%), porém também não correspondem aos níveis de iluminância pois nestes horários eles são superiores aos valores médios mínimos recomendados pela NBR 5413 (200 a 500 lux).

Tabela 4.10 - Coeficientes de CIN e níveis de iluminância da sala 2264

Dia 04/08/2012												
	Sala de aula 2264											
Horário	Ponto 01		Ponto 02		Ponto 03		Ponto 04		Ponto 05		Ponto 06	
	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux
08:30	0,84%	213,1	0,76%	192,9	0,73%	183,8	0,15%	38,54	0,14%	34,26	0,15%	37,61
09:30	2,20%	899,6	2,27%	926,3	2,16%	882,6	0,48%	196,7	0,41%	168,7	0,44%	177,7
10:30	2,67%	1407	2,82%	1487	2,58%	1360	0,49%	255,8	0,40%	210,5	0,40%	212,9
11:30	1,71%	1011	1,69%	1001	1,56%	926	0,33%	198,1	0,30%	178,6	0,34%	199,1
12:30	1,68%	995	1,70%	1009	1,58%	935	0,32%	189,3	0,25%	149,8	0,26%	153,8
13:30	3,22%	1696	3,20%	1688	3,02%	1590	0,65%	344	0,58%	306,7	0,62%	326,9
14:30	3,25%	1324	3,41%	1390	3,15%	1285	0,68%	278,4	0,58%	237,8	0,62%	253,6
15:30	5,28%	1337	5,47%	1384	5,11%	1292	0,59%	148,1	0,78%	198,1	0,56%	141,7
16:30	7,06%	698,6	15,39%	1523	6,71%	663,9	1,53%	151,5	1,51%	149,2	1,49%	147,7

Segundo a Tabela 4.10, os níveis de iluminância correspondem aos coeficientes de CIN apenas às 08:30h nos pontos 02 e 03, das 08:30h às 09:30h nos pontos 04, 05 e 06 e das 15:30h às 16:30h em todos os pontos, pois, no restante do dia, em alguns horários, os níveis de iluminância são superiores ao mínimo recomendado para condições críticas (500 lux) ou estão de acordo com os valores médios mínimos recomendados (200 a 500 lux), enquanto os coeficientes de CIN são inferiores ao que recomendam as normas internacionais (2 a 5%), além disso, das 9:30h às 10:30h e das 13:30h às 14:30h, nos pontos 01, 02 e 03, os coeficientes de CIN se enquadram no intervalo recomendado pelas normas internacionais (2 a 5%), porém os níveis de iluminância também não correspondem aos coeficientes de CIN pois eles são superiores aos valores médios mínimos recomendados pela NBR 5413 (200 a 500 lux).

A Figura 4.41 mostra a disposição das luminárias e a situação das lâmpadas nas salas de aula 2265 e 2264 do CCSH, no dia 17/07/12, quando foi realizada a medição com iluminação natural mais artificial.

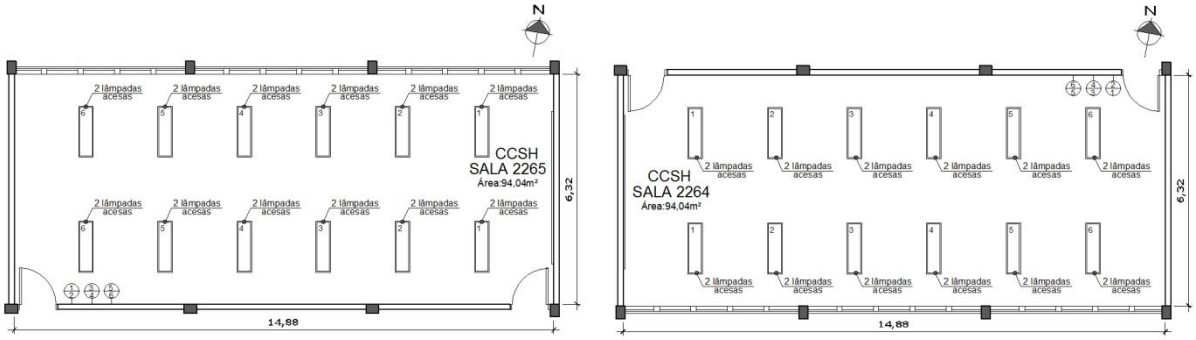


Figura 4.41 – Posição das luminárias e situação das lâmpadas nas salas 2265 e 2264 do CCSH
Fonte: adaptado de UFSM (2011)

A Figura 4.42 apresenta os gráficos com os resultados obtidos para a sala 2265 e 2264 quando medida apenas a iluminação natural.

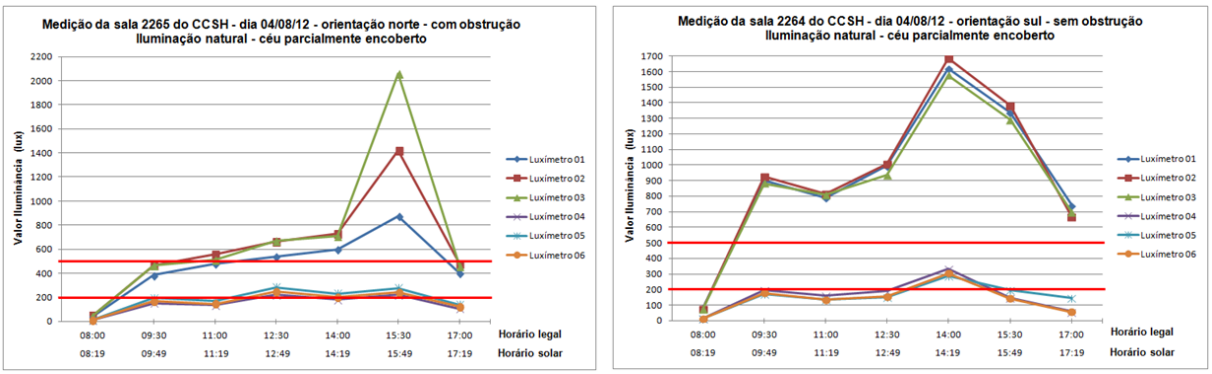


Figura 4.42 - Gráficos dos níveis de iluminância das salas de aula 2265 e 2264 do CCSH, quando medida a apenas a iluminação natural

Segundo os gráficos da Figura 4.42, em ambas as salas, quando medida apenas a iluminação natural, sob condição de céu parcialmente encoberto, como esperado, os níveis de iluminância são mais altos nas regiões mais próximas das aberturas do que nas mais afastadas.

Na sala 2265 os níveis de iluminância nos pontos 01 e 04 (mais próximos ao quadro), são menores do que os níveis nos pontos 02 e 03 e nos pontos 05 e 06 respectivamente, provavelmente devido ao fato do quadro ser escuro (baixa refletância) e ocupar grande área da parede. Com relação à distância das aberturas,

nos pontos mais afastados, os níveis se mostraram constantes, próximos de 200 lux durante todo dia, apresentando-se um pouco abaixo no período da manhã, até por volta das 11:00h (horário legal) e no fim da tarde, após aproximadamente as 16:30h (horário legal). Nos pontos mais próximos das aberturas, os níveis registrados estão de acordo com os valores médios mínimos recomendados pela norma (200 a 500 lux), apenas entre 8:30h e 10:00h (horário legal) aproximadamente, após esse horário os níveis se mostraram superiores ao mínimo recomendado para condições críticas, apresentando um grande crescimento, provavelmente em função da variação das nuvens no céu, das 14:00h até as 15:30h (horário legal) quando voltam a diminuir.

Na sala 2264, nos pontos mais próximos das aberturas, os níveis de iluminância são maiores do que o mínimo recomendado para condições críticas (500 lux) após aproximadamente as 9:00h (horário legal), se tornando ainda maior, provavelmente em função da variação das nuvens no céu, nos horário compreendidos entre 12:30h e 14:00h (horário legal). Nos pontos mais afastados das aberturas, os níveis de iluminância apresentam uma distribuição mais uniforme ao longo do dia, mantendo-se abaixo dos valores médios mínimos recomendados (200 a 500 lux), até as 12:30h (horário legal) e após aproximadamente as 15:15h (horário legal).

Com relação à medição com iluminação natural mais artificial, os resultados obtidos para as salas 2265 e 2264, apresentam-se nos gráficos da Figura 4.43.

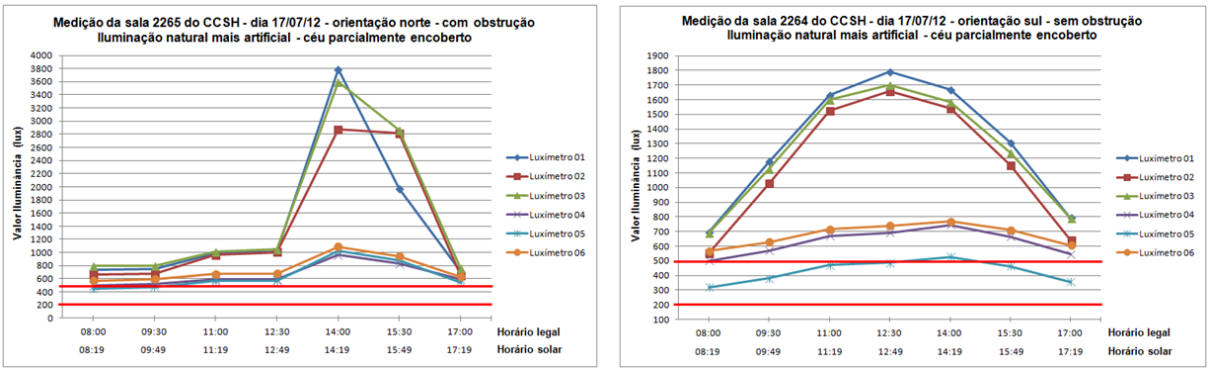


Figura 4.43 - Gráficos dos níveis de iluminância das salas de aula 2265 e 2264 do CCSH, quando medida a iluminação natural mais artificial

De acordo com os gráficos da Figura 4.43, na sala 2265 os níveis de iluminância são superiores aos valores médios mínimos recomendados pela norma (200 a 500 lux) em todos os pontos, durante todo dia, apresentando grande variação, provavelmente em função de mudança nas condições de céu, no período da tarde, nos horários compreendidos entre 12:30h até 17:00h (horário legal).

Na sala 2264, nos pontos mais próximos das aberturas, os níveis são superiores ao mínimo recomendado para condições críticas (500 lux) e apresentam grande variação durante o dia, crescendo no período da manhã e diminuindo à tarde. Nos pontos mais afastados, a distribuição dos níveis é mais uniforme e também superior a 500 lux durante todo dia nos pontos 04 e 06. No ponto 05, o comportamento é semelhante, porém os níveis estão de acordo com os valores médios mínimos recomendados (200 a 500 lux) durante grande parte do tempo, ultrapassando 500 lux apenas nos horários compreendidos entre 12:30h e 15:00h (horário legal), aproximadamente.

Ao comparar o comportamento das duas salas de aula, observa-se que em ambas as salas, nos pontos mais afastados das aberturas, os resultados foram semelhantes, tanto em distribuição dos níveis de iluminância quanto em valores, porém nos mais próximos, a sala com as aberturas voltadas a sul (2264), de modo geral, obteve maiores níveis e uma distribuição mais uniforme do que a sala voltada a norte (2265). Os resultados apontam, neste caso, que quando o céu está parcialmente encoberto, os níveis de iluminância em ambas as orientações (norte e sul) são mais semelhantes do que quando o céu está claro, porém devido provavelmente, a proteção solar e a obstrução existente na sala norte (2265), os níveis de iluminância, de modo geral, se mostram maiores na sala sul (2264). Ou seja, neste caso, o tratamento equivocado das aberturas e das proteções solares leva a um dimensionamento desfavorável das mesmas, criando, para orientação sul, aberturas que para condição de céu parcialmente encoberto, permitem elevados níveis de iluminância, e para orientação norte, aberturas com proteção solar que não conseguem reduzir os níveis de iluminância durante todo dia. Em ambos os casos, os altos níveis de iluminância podem causar desconforto visual, obrigando os usuários a fecharem as cortinas, reduzindo os níveis em toda sala e levando ao acionamento de toda iluminação artificial, já que nos pontos mais afastados das aberturas, os níveis de iluminância serão insuficientes e a iluminação artificial não possui circuito de acionamento paralelo às aberturas e sim ao quadro.

4.4 Resultados das salas de aula do CE

4.4.1 Descrição e caracterização das salas de aula do CE

No CE foram selecionadas as salas 3208, 3209, 3269 e 3270, ambas no segundo pavimento, com áreas e características físicas semelhantes. As salas foram selecionadas configurando três pares. Um par foi formado pelas salas 3208 e 3270 que possuem orientações diferentes e obstrução em frente às aberturas e os outros dois pares foram formados pelas salas 3209 e 3270 e pelas salas 3208 e 3269, ambos pares com mesma orientação, porém com uma das salas com obstrução em frente às aberturas e outra sem, como mostra a Figura 4.44.

Figura 4.44 – Planta baixa esquemática do bloco do CE mostrando as salas de aula selecionadas
Fonte: adaptado de UFSM (2011)

4.4.1.1 Salas de aula 3208 e 3270

As salas de aula 3208 e 3270 possuem dimensões, disposição dos móveis e luminárias, altura das aberturas, desenho da proteção solar e posição onde os luxímetros foram instalados, conforme mostram a Figura 4.45 e a Figura 4.46.

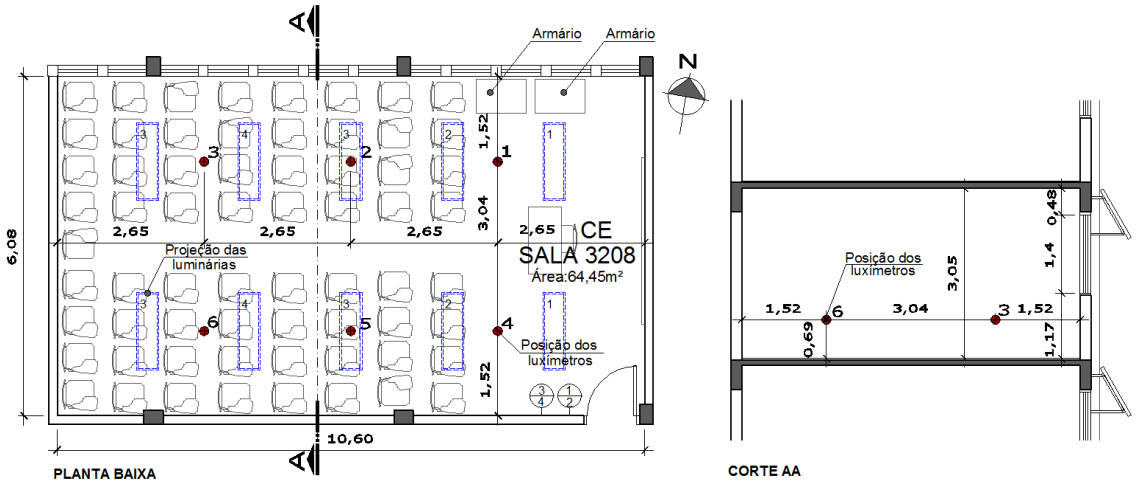


Figura 4.45 – Planta baixa e corte esquemáticos da sala de aula 3208 do CE
Fonte: adaptado de UFSM (2011)

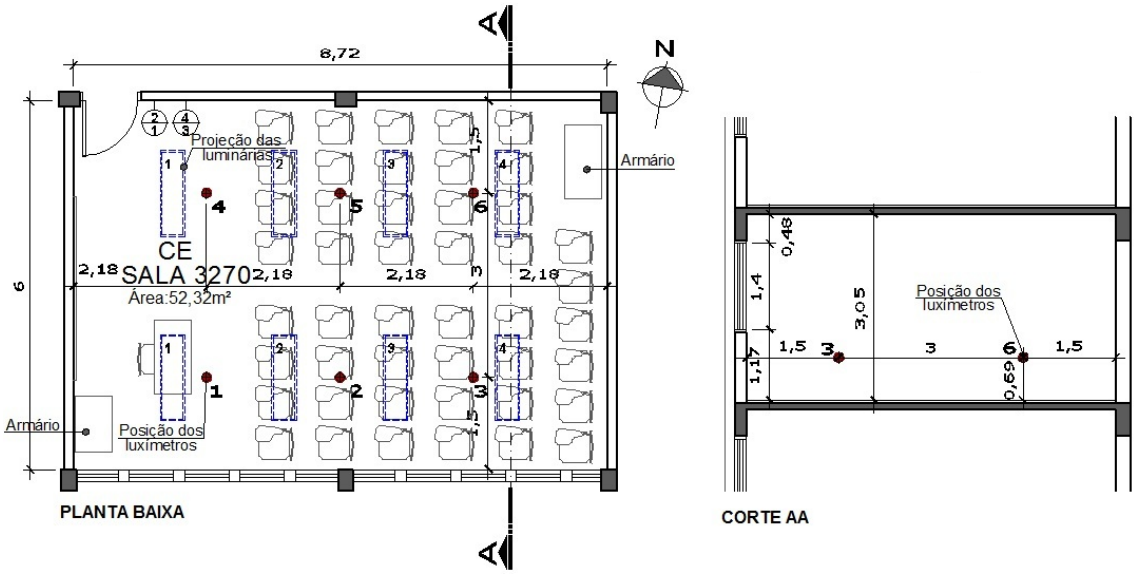


Figura 4.46 – Planta baixa e corte esquemáticos da sala de aula 3270 do CE
Fonte: adaptado de UFSM (2011)

Os ambientes possuem características físicas conforme mostram a Figura 4.47, a Figura 4.48 e o Quadro 4.3. De acordo com o que foi apresentado na Tabela 2.1, do item 2.4, da revisão bibliográfica, nestas salas, apenas o coeficiente de reflexão das paredes está de acordo com os valores recomendados para ambientes como os de salas de aula.

Figura 4.47 – Imagens da sala de aula 3208 do CE

Figura 4.48 – Imagens da sala de aula 3270 do CE

Características	Sala de aula 3208	Sala de aula 3270
Dimensões	10,60m x 6,08m x 3,05m	8,72m x 6,00m x 3,05m
Orientação solar	Norte	Sul
Cor do piso	Salmão / coeficiente de reflexão = 50%	Salmão / coeficiente de reflexão = 50%
Cor das paredes	Bege / coeficiente de reflexão = 50%	Bege / coeficiente de reflexão = 50%
Cor do teto	Bege / coeficiente de reflexão = 50%	Bege / coeficiente de reflexão = 50%
Cor do mobiliário	Marrom / coeficiente de reflexão = 30%	Cinza / coeficiente de reflexão = 30%
Aberturas	Basculante metálica, vidro incolor	Basculante metálica, vidro incolor
Proteção solar externa	Inclinada, de fibrocimento coeficiente de reflexão = 30%	Não possui
Proteção solar interna	Cortina tipo *blackout* bege	Persiana vertical de tecido cinza claro
Obstrução externa	Edificação em frente às aberturas coeficiente de reflexão = 50%	Edificação em frente às aberturas coeficiente de reflexão = 50%
Luminárias	10 calhas espelhadas suspensas em trilhos	8 calhas espelhadas suspensas em trilhos
Lâmpadas por luminária	4 fluorescentes de 40W	4 fluorescentes de 40W
Reator	Eletro magnético 2x40W / perdas - 15W	Eletro magnético 2x40W / perdas - 15W
Potência total	1900W	1520W

Quadro 4.3 – Características físicas da sala 3208 e 3270 do CE

A face externa das salas de aula possui revestimento em reboco pintado nas cores bege e amarelo escuro e a edificação em frente às aberturas (obstrução), das duas salas, possui as mesmas características, pois faz parte da mesma edificação, como mostram a Figura 4.49 e a Figura 4.50.

Figura 4.49 - Imagens, respectivamente, da face externa da sala 3208 e da obstrução em frente às aberturas

Figura 4.50 – Imagens, respectivamente, da face externa da sala 3270 e da obstrução em frente às aberturas

A edificação em frente às aberturas (obstrução) possui 11,44m de altura e está a 10,60m de distância da sala 3208 e da sala 3270, como mostram a Figura 4.51 e a Figura 4.52.

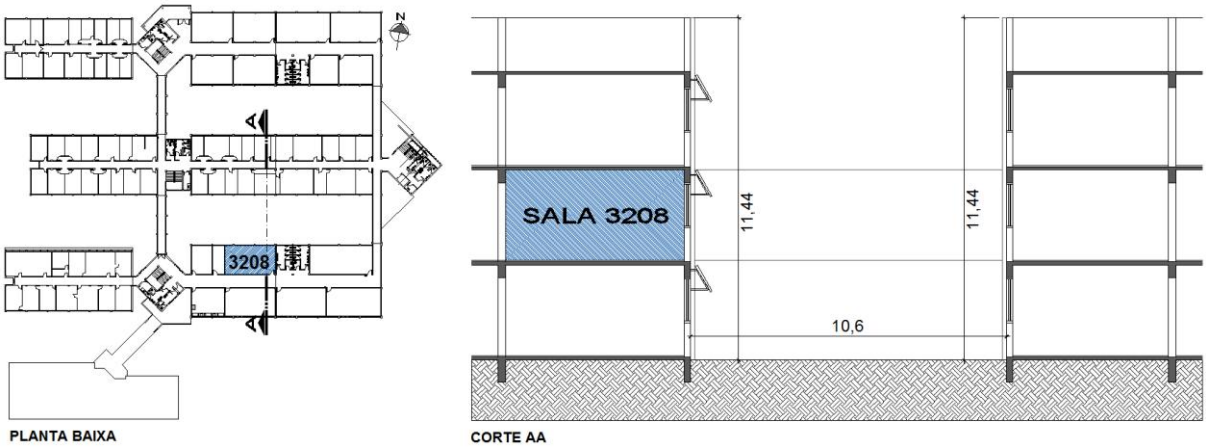


Figura 4.51 – Planta baixa e corte esquemáticos, mostrando a distância e a altura da edificação em frente à sala 3208
Fonte: adaptado de UFSM (2011)

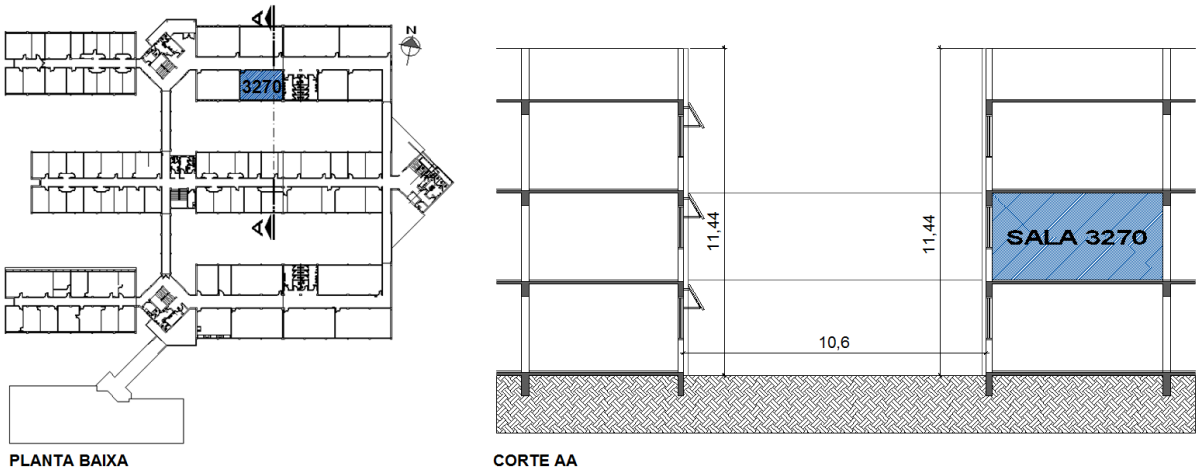


Figura 4.52 – Planta baixa e corte esquemáticos, mostrando a distância e a altura da edificação em frente à sala 3270
Fonte: adaptado de UFSM (2011)

A Figura 4.53 e a Figura 4.54 mostram as máscaras de obstrução desenvolvidas, para cada ponto onde foram instalados os luxímetros, com suas respectivas porcentagens de obstrução do céu, devido aos pilares existentes entre as aberturas e à edificação em frente à sala de aula.

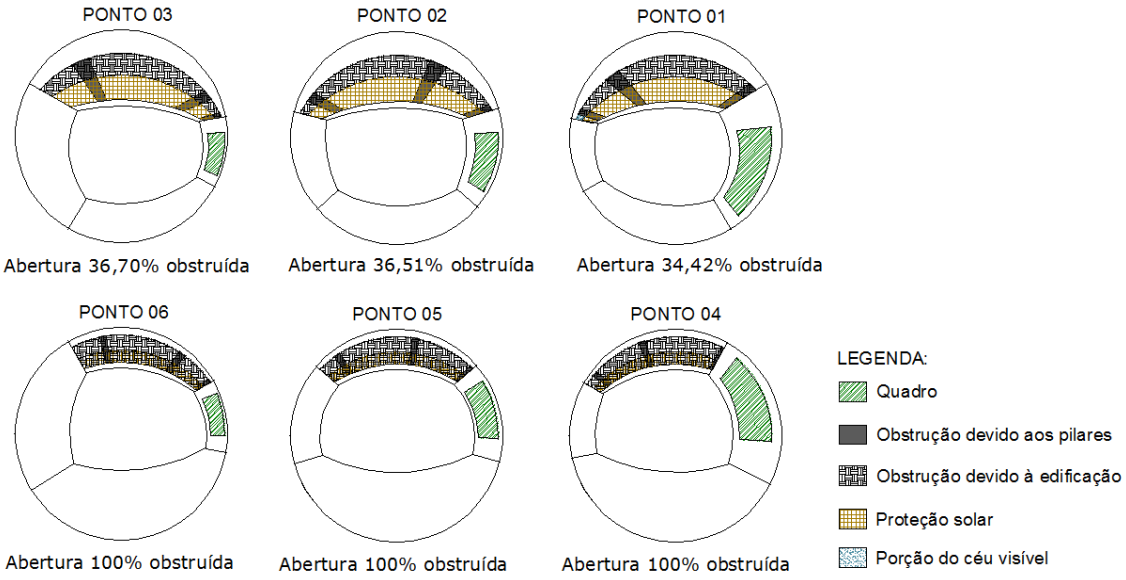


Figura 4.53 – Máscara de obstrução de cada ponto onde foram realizadas as medições da sala 3208

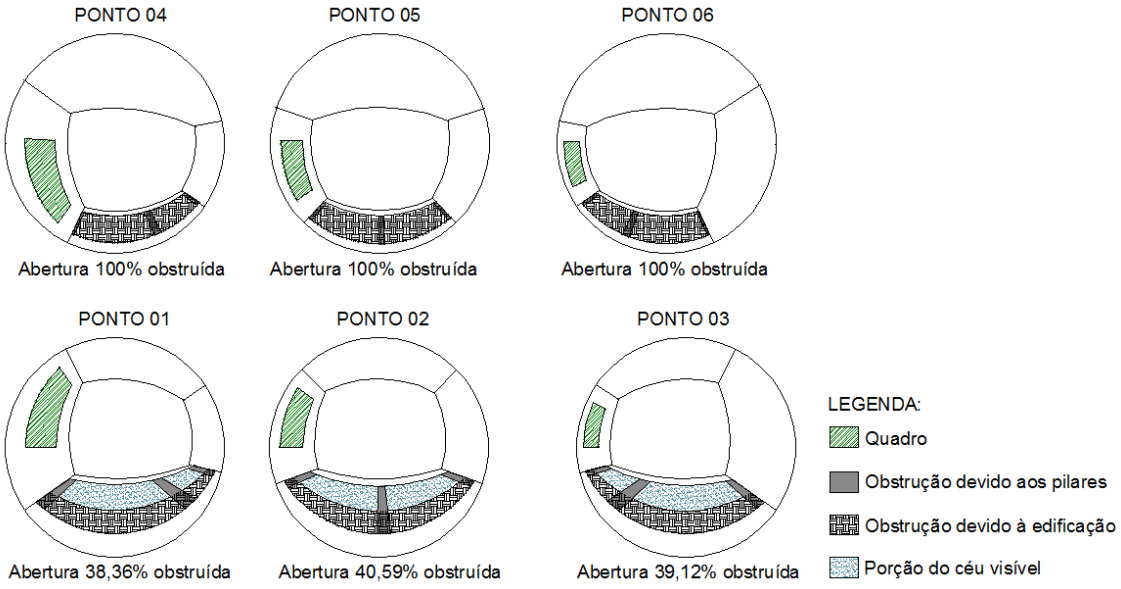


Figura 4.54 - Máscara de obstrução de cada ponto onde foram realizadas as medições da sala 3270

4.4.2 Medições das salas 3208 e 3270 do CE

As medições das salas de aula 3208 e 3270 do CE, foram tomadas nos finais de semana dos dias 01/09/12 e 02/09/12 sob condição de céu claro e 08/09/12 e 09/09/12 sob condição de céu encoberto.

4.4.2.1 Resultados dos dias 01/09/12 e 02/09/12

As medições dos dias 01/09/12 e 02/09/12, foram realizadas sob condição de céu claro, como mostram as fotografias da Figura 4.55, obtidas, respectivamente, no período da manhã, em torno de meio dia e durante a tarde.

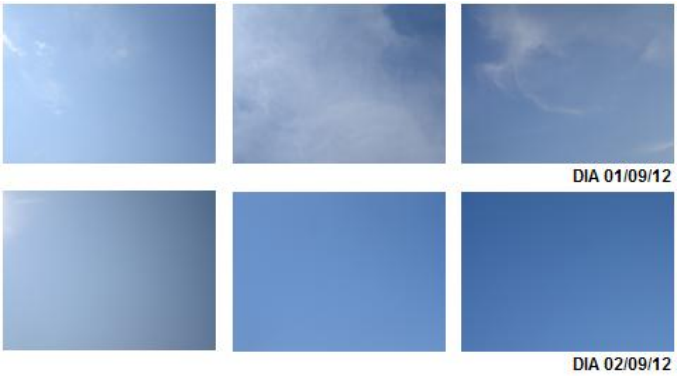


Figura 4.55 – Fotografias do céu obtidas ao longo dos dias 01/09/12 e 02/09/12

A Tabela 4.11 e a Tabela 4.12 mostram os coeficientes de CIN e os níveis de iluminância em lux, de cada ponto onde foram realizadas as medições das salas 3208 e 3270 respectivamente, no dia 02/09/12 quando foi medida apenas a iluminação natural.

Tabela 4.11 - Coeficientes de CIN e níveis de iluminância da sala 3208

Dia 02/09/2012												
	Sala de aula 3208											
Horário	Ponto 01		Ponto 02		Ponto 03		Ponto 04		Ponto 05		Ponto 06	
	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux
08:30	0,39%	134,70	0,54%	183,6	0,43%	145,9	0,18%	60,34	0,22%	73,63	0,24%	80,92
09:30	0,46%	231,70	0,61%	307,4	0,52%	258,8	0,21%	105,2	0,26%	129,4	0,29%	143,1
10:30	0,49%	306,80	0,62%	386	0,54%	339,2	0,23%	142,7	0,28%	174,4	0,31%	195,4
11:30	0,50%	348,50	0,62%	433,3	0,54%	379,7	0,24%	165,8	0,29%	202	0,32%	226,2
12:30	0,53%	368,00	0,65%	455	0,57%	397,2	0,25%	174,2	0,31%	213,2	0,34%	239
13:30	0,62%	387,30	0,75%	472,1	0,66%	413,1	0,29%	181,6	0,35%	221,5	0,39%	247,6
14:30	0,75%	377,3	0,92%	459,7	0,81%	405,7	0,35%	174,5	0,42%	211,7	0,47%	237
15:30	1,05%	360	1,24%	423,2	1,09%	372,1	0,50%	170	0,57%	196,3	0,62%	213,2
16:30	0,88%	146,70	1,22%	204,1	1,32%	220,1	0,50%	83,4	0,59%	99	0,69%	115,6

De acordo com a Tabela 4.11, os coeficientes de CIN correspondem aos níveis de iluminância, apenas às 08:30h e 16:30h no ponto 01, às 08:30h no ponto 02 e 03, durante todo dia no ponto 04, das 08:30h às 10:30h e após às 15:30h no ponto 05 e das 08:30h às 10:30h e às 16:30h no ponto 06, pois no restante do dia os níveis de iluminância, são superiores ou estão de acordo com as médias mínimas recomendadas pela NBR 5413 (200 a 500 lux) enquanto os coeficientes de CIN são inferiores ao que recomendam as normas internacionais (2 a 5%).

Tabela 4.12 - Coeficientes de CIN e níveis de iluminância da sala 3270

Dia 02/09/2012												
	Sala de aula 3270											
Horário	Ponto 01		Ponto 02		Ponto 03		Ponto 04		Ponto 05		Ponto 06	
	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux
08:30	1,89%	645,2	1,49%	508,6	1,71%	586,3	0,57%	196,2	0,64%	217,3	0,50%	170,4
09:30	1,96%	984,9	1,48%	740,9	1,77%	890,9	0,78%	391,9	0,87%	435,4	0,68%	343
10:30	1,96%	1232	1,45%	908,8	1,68%	1056	0,91%	572,6	1,01%	632,6	0,79%	495
11:30	2,07%	1446	1,48%	1034	1,77%	1236	1,04%	726,7	1,13%	789,6	0,88%	612,7
12:30	2,24%	1563	1,58%	1103	1,91%	1328	1,17%	813,7	1,26%	877,5	0,97%	676,4
13:30	2,51%	1574	1,77%	1111	2,11%	1326	1,32%	828,8	1,41%	885,9	1,08%	676
14:30	2,92%	1464	2,07%	1038	2,43%	1221	1,53%	766,8	1,62%	812,7	1,22%	612,1
15:30	3,43%	1174	2,45%	839	2,77%	946	1,70%	581,7	1,78%	609,2	1,31%	447,4
16:30	4,63%	774	3,50%	583,8	3,90%	651,7	1,91%	318,3	2,00%	334,3	1,42%	237,1

Segundo a Tabela 4.12, os níveis de iluminância correspondem aos coeficientes de CIN, apenas às 08:30h no ponto 04 e 06 e às 16:30h no ponto 05, pois após às 11:30h no ponto 01, às 14:30h no ponto 02 e às 13:30h no ponto 03, enquanto os coeficientes de CIN estão de acordo com o que recomendam as normas internacionais (2 a 5%), os níveis de iluminância são superiores ao valores médios mínimos recomendados (200 a 500 lux) além disso, no restante do dia, os coeficientes de CIN são inferiores ao que recomendam as normas (2 a 5%) enquanto os níveis de iluminância estão de acordo com o que recomenda a NBR 5413 (200 a 500 lux) ou são superiores a 500 lux.

A Figura 4.56 mostra a disposição das luminárias e a situação das lâmpadas nas salas de aula 3208 e 3270 do CE, no dia 01/09/12, quando foi realizada a medição com iluminação natural mais artificial.

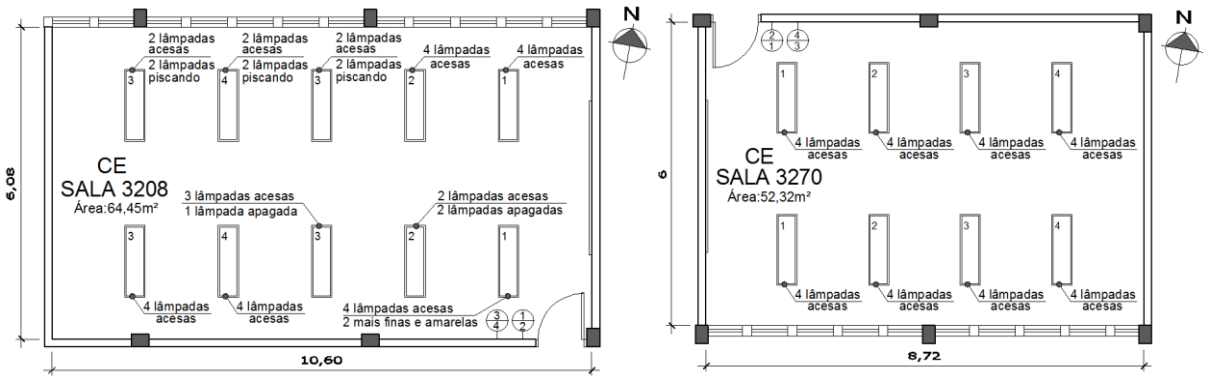


Figura 4.56 – Posição das luminárias e situação das lâmpadas nas salas 3208 e 3270 do CE.
Fonte: adaptado de UFSM (2011)

A Figura 4.57 apresenta os gráficos com os resultados obtidos para a sala 3208 e 3270 quando medida apenas a iluminação natural.

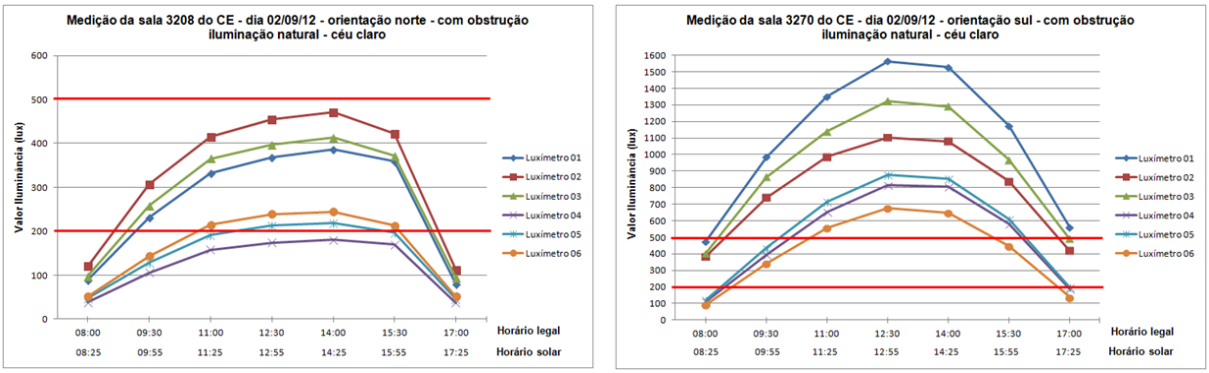


Figura 4.57 – Gráficos dos níveis de iluminância das salas de aulas 3208 e 3270 do CE, quando medida apenas a iluminação natural

De acordo com os gráficos da Figura 4.57, quando medida apenas a iluminação natural, em ambas as salas, sob condição de céu claro, os níveis de iluminância são maiores nos pontos mais próximos das aberturas do que nos mais afastados, além disso, observa-se um comportamento uniforme da distribuição dos níveis, crescendo no período da manhã e decrescendo à tarde.

Na sala 3208, no que diz respeito à iluminância em função da distância da parede em que se encontra o quadro, nos pontos 01 e 04 (mais próximos ao quadro), os níveis são menores do que nos pontos mais afastados, devido ao fato do quadro ocupar boa parte da parede e possuir baixo coeficiente de reflexão (menor do que das paredes). Com relação à iluminância em função da distância das aberturas, nos pontos mais próximos, os níveis se encontram em grande parte do tempo, de acordo com os valores médios mínimos recomendados pela norma (200 a 500 lux), ficando abaixo do recomendado apenas até cerca de 9:00h e após aproximadamente 16:30h (horário legal). Nos pontos mais afastados das aberturas, os níveis são insuficientes em todo dia no ponto 04 e até cerca de 11:00h e após aproximadamente 15:30h (horário legal), nos pontos 05 e 06. Neste caso, com exceção do ponto 04, em todos os outros pontos, a iluminação artificial se faz necessária, no período do início da manhã e após o meio da tarde.

Na sala 3270, nos pontos mais próximos das aberturas, os níveis de iluminância são superiores ao valor mínimo recomendado para condições críticas (500 lux), durante todo dia no ponto 01, e após aproximadamente 8:30h até cerca de 16:50h (horário legal) nos pontos 02 e 03. Nos pontos mais afastados, os níveis se encontram abaixo das médias mínimas recomendadas (200 a 500 lux) até

aproximadamente 8:30h e após cerca das 16:50h (horário legal) e acima delas após aproximadamente 10:00h até cerca de 15:40h (horário legal). Neste caso, a illuminação artificial não só não se faz necessária em grande parte do tempo, como a natural precisa ser controlada, principalmente nos pontos próximos das aberturas, para não acabar causando desconforto visual.

Com relação à medição com iluminação natural mais artificial, os resultados obtidos para as salas 3208 e 3270, apresentam-se nos gráficos da Figura 4.58.

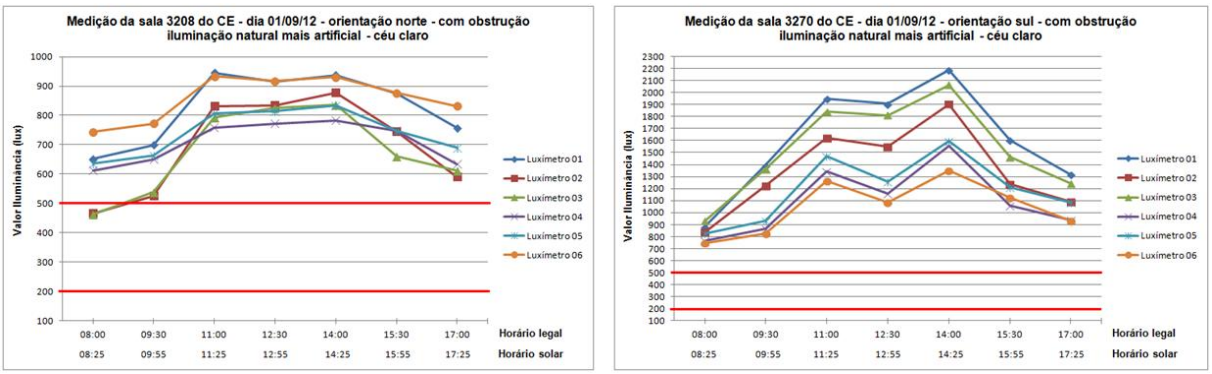


Figura 4.58 – Gráficos dos níveis de iluminância das salas de aula 3208 e 3270 do CE, quando medida a iluminação natural mais artificial

Conforme o gráfico da Figura 4.58, na sala 3208, como esperado, devido à má conservação do sistema de iluminação artificial (lâmpadas queimadas ou piscando), os níveis não são distribuídos uniformemente. Os níveis são superiores ao mínimo recomendado para condições críticas (500 lux), durante todo dia, no ponto 01 (mais próximo das aberturas) e nos pontos mais afastados. Nos pontos 02 e 03 (mais próximos), os níveis também são superiores a 500 lux, porém apenas após aproximadamente às 9:00h (horário legal). Mesmo a iluminação artificial não estando funcionando corretamente (lâmpadas queimadas ou piscando), os níveis são altos, o que mostra que para esta situação, o sistema de iluminação artificial, está superdimensionado, consumindo mais energia do que é necessário.

Na sala 3270, os níveis de iluminância em todos os pontos, durante todo dia, são superiores aos valores médios mínimos recomendados pela NBR 5413 (200 a 500 lux), mostrando que para esta situação, a iluminação artificial pode ser reduzida,

diminuindo o consumo de energia elétrica e o possível desconforto visual, causado pelos altos níveis de iluminância.

Ao comparar os resultados obtidos nas duas salas de aula, ambas com obstrução solar, observa-se que a sala voltada a sul (3270) apresenta maiores níveis de iluminância do que a sala voltada a norte (3208). Nesta situação, o que se verifica é que o tratamento das aberturas com relação à área, não considerando o entorno, pode levar a um dimensionamento desfavorável das mesmas. Na orientação solar sul, cria aberturas superdimencionadas, que proporcionam níveis de iluminância elevados, obrigando o fechamento das cortinas, levando possivelmente ao acionamento da iluminação artificial. Na orientação solar norte, cria aberturas que não permitem níveis de iluminância adequados nos pontos mais afastados das mesmas, obrigando o acionamento da iluminação artificial de toda sala, uma vez que o circuito da iluminação artificial é paralelo ao quadro e não às aberturas.

4.4.2.2 Resultados dos dias 08/09/12 e 09/09/12

As medições dos dias 08/09/12 e 09/09/12, foram realizadas sob condição de céu encoberto, como mostram as fotografias da Figura 4.59, obtidas, respectivamente, no período da manhã, em torno de meio dia e durante a tarde.

Figura 4.59 - Fotografias do céu obtidas ao longo dos dias 08/09/12 e 09/09/12

A Tabela 4.13 e a Tabela 4.14 mostram os coeficientes de CIN e os níveis de iluminância em lux, de cada ponto onde foram realizadas as medições das salas

3208 e 3270 respectivamente, no dia 09/09/12 quando foi medida apenas a iluminação natural.

Tabela 4.13 - Coeficientes de CIN e níveis de iluminância da sala 3208

Dia 09/09/2012												
Horário	Sala de aula 3208											
	Ponto 01		Ponto 02		Ponto 03		Ponto 04		Ponto 05		Ponto 06	
	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux
08:30	0,09%	31,27	0,12%	42,65	0,10%	34,39	0,04%	15,27	0,04%	13,51	0,05%	16,15
09:30	0,11%	52,73	0,15%	74,96	0,12%	59,12	0,06%	28,91	0,05%	25,53	0,06%	28,95
10:30	0,12%	73,25	0,17%	108,3	0,13%	82,85	0,07%	40,88	0,06%	36,09	0,07%	41,12
11:30	0,18%	125,90	0,22%	151,3	0,21%	142,3	0,09%	60,45	0,08%	53,92	0,10%	70,75
12:30	0,12%	85,60	0,18%	122,5	0,14%	95,1	0,07%	49,00	0,06%	43,51	0,07%	50,05
13:30	0,12%	72,96	0,19%	115,0	0,13%	83,3	0,07%	44,57	0,06%	39,07	0,07%	42,79
14:30	0,23%	113,4	0,33%	164,9	0,26%	128	0,13%	66,01	0,12%	58,72	0,13%	67,32
15:30	0,15%	52,91	0,21%	72,87	0,17%	59,12	0,08%	28,76	0,07%	25,55	0,09%	29,67
16:30	0,16%	29,02	0,32%	55,95	0,19%	33,35	0,10%	17,53	0,09%	15,04	0,09%	15,75

Segundo a Tabela 4.13, os níveis de iluminância, em todos os pontos, são bastante baixos, menores do que recomenda a NBR 5413 (200 a 500 lux), correspondendo aos coeficientes de CIN que também são baixos e em nenhum momento alcançam os valores recomendado pelas normas internacionais (2 a 5%).

Tabela 4.14 - Coeficientes de CIN e níveis de iluminância da sala 3270

Dia 09/09/2012												
Horário	Sala de aula 3270											
	Ponto 01		Ponto 02		Ponto 03		Ponto 04		Ponto 05		Ponto 06	
	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux
08:30	0,46%	160,3	0,41%	142,3	0,49%	168,3	0,12%	42,54	0,13%	45,94	0,10%	35,21
09:30	0,70%	348,0	0,62%	311,6	0,67%	335,0	0,14%	67,59	0,15%	76,12	0,11%	56,04
10:30	0,82%	505,3	0,72%	444,1	0,76%	469,6	0,14%	87,60	0,16%	101,9	0,12%	75,42
11:30	1,25%	860,2	1,00%	688,0	1,32%	902,5	0,22%	149,4	0,26%	181,6	0,18%	123,3
12:30	0,90%	614,0	0,76%	524,3	0,82%	560,4	0,17%	113,5	0,18%	126,5	0,14%	95,3
13:30	0,88%	545,3	0,80%	497,8	0,75%	462,1	0,14%	87,30	0,17%	102,3	0,12%	74,65
14:30	1,72%	859,2	1,39%	696,0	1,33%	662,7	0,29%	143,1	0,33%	163,4	0,24%	119,9
15:30	0,99%	344,2	0,86%	296,0	0,96%	333,8	0,21%	72,32	0,23%	78,53	0,17%	59,51
16:30	1,28%	225,2	1,25%	220,4	1,01%	178,1	0,17%	30,67	0,20%	35,62	0,14%	25,4

De acordo com a Tabela 4.14, os níveis de iluminância correspondem aos coeficientes de CIN, durante todo dia, nos pontos 04, 05 e 06, às 8:30h e às 16:30h no ponto 03 e apenas às 08:30h nos pontos 01 e 02, pois no restante do tempo, enquanto os níveis de iluminância são superiores ou estão de acordo com os valores médios mínimos recomendados pelas normas (200 a 500 lux), os coeficientes de CIN são inferiores ao que recomendam as normas internacionais (2 a 5%).

A Figura 4.60 mostra a disposição das luminárias e a situação das lâmpadas nas salas de aula 3208 e 3270 do CE, no dia 08/09/12, quando foi realizada a medição com iluminação natural mais artificial.

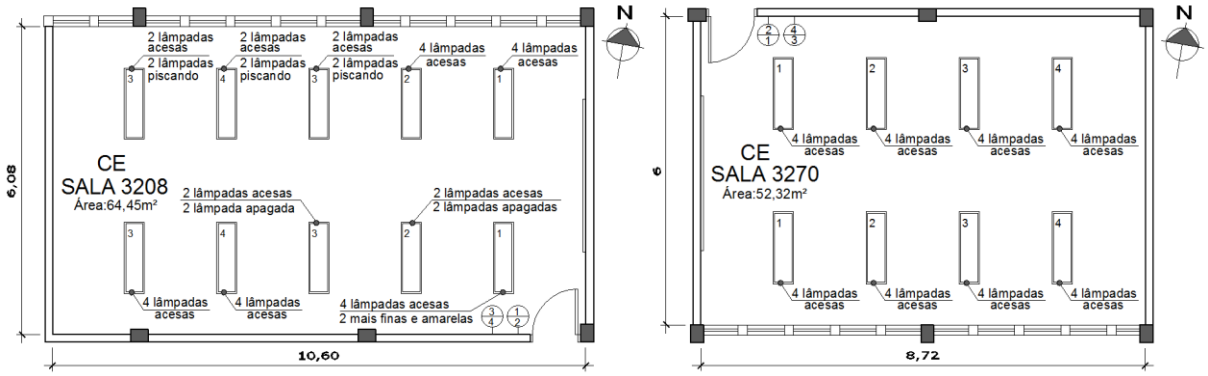


Figura 4.60 – Posição das luminárias e situação das lâmpadas nas salas 3208 e 3270 do CE.
Fonte: adaptado de UFSM (2011)

A Figura 4.61 apresenta os gráficos com os resultados obtidos para a sala 3208 e 3270 quando medida apenas a iluminação natural.

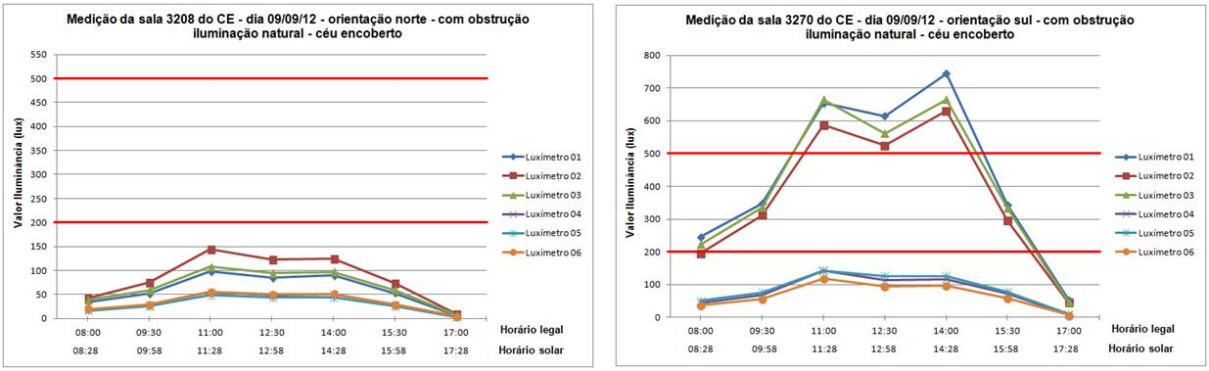


Figura 4.61 – Gráficos dos níveis de iluminância das salas de aula 3208 e 3270 do CE, quando medida apenas a iluminação natural

Segundo o gráfico da Figura 4.61, quando medida apenas a iluminação natural, na sala 3208, sob condição de céu encoberto, observa-se uma distribuição uniforme dos níveis de iluminância, com pouca diferença entre os pontos mais próximos e os mais afastados das aberturas. Em todos os pontos os níveis são bastante baixos, não alcançando o mínimo recomendado pela norma (200 lux), evidenciando o fato de que neste caso a iluminação artificial se faz necessária durante todo dia, em todos os pontos.

Na sala 3270, conforme esperado os níveis de iluminância são maiores nos pontos mais próximos das aberturas do que nos mais afastados. Nos pontos mais próximos, os níveis estão de acordo com as médias mínimas recomendadas (200 a 500 lux) desde o início da manhã até aproximadamente 10:00h (horário legal), quando se tornam maiores que o mínimo recomendado para condições críticas (500 lux) e após cerca das 15:00h até 16:00h (horário legal), quando passam a ser insuficientes (inferiores a 200 lux). Nos pontos mais afastados os níveis são menores, não alcançando 200 lux e mostrando que durante todo dia a iluminação artificial nestes pontos se faz necessária.

Com relação à medição com iluminação natural mais artificial, os resultados obtidos para as salas 3208 e 3270, apresentam-se nos gráficos da Figura 4.62.

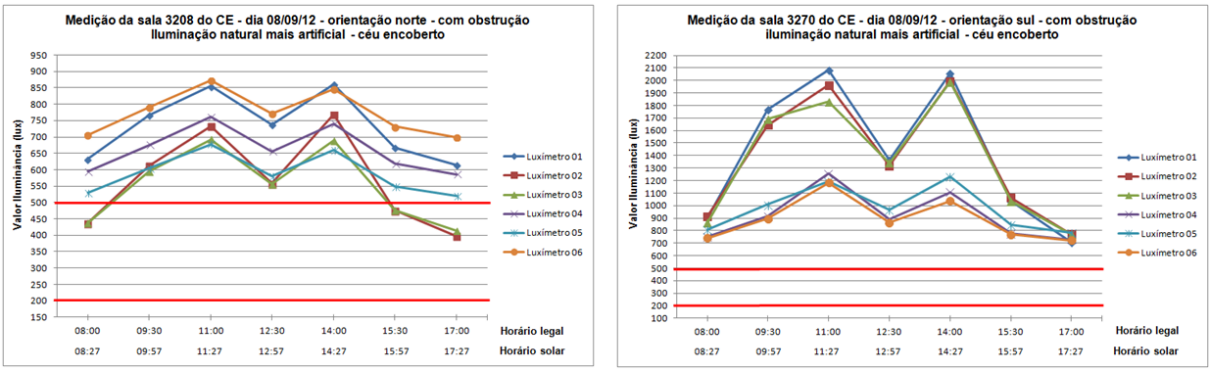


Figura 4.62 – Gráficos dos níveis de iluminância das salas de aula 3208 e 3270 do CE, quando medida a iluminação natural mais artificial.

De acordo com o gráfico da Figura 4.62, na sala 3208, devido à má conservação do sistema de iluminação artificial (lâmpadas queimadas ou piscando), os níveis de iluminância não se apresentam distribuídos uniformemente. Nos pontos

mais afastados das aberturas, os níveis são superiores ao mínimo recomendado para condições críticas (500 lux), durante todo dia, acontecendo o mesmo no ponto 01 (mais próximo das aberturas) e nos horários compreendidos entre aproximadamente 9:00h, até cerca de 15:30h (horário legal), nos pontos 02 e 03. Neste caso, os níveis são superiores a 500 lux, mesmo com o sistema de iluminação artificial não funcionando corretamente (lâmpadas queimadas e piscando), o que mostra que há um superdimensionamento do sistema de iluminação artificial, causando um gasto desnecessário de energia elétrica e podendo causar desconforto visual aos usuários da sala.

Na sala 3270, em todos os pontos os níveis são superiores ao mínimo recomendado para condições críticas (500 lux), durante todo dia, mostrando que para esta situação a iluminação artificial está superdimensionada, já que mesmo nos pontos mais afastados das aberturas, os níveis são bastante superiores a 500 lux, o que causa um gasto desnecessário de energia elétrica e pode causar desconforto visual aos usuários do ambiente.

Ao comparar os resultados obtidos nas duas salas de aula, ambas com obstrução solar, observa-se que, assim como na medição com céu claro, a sala voltada a sul (3270) apresenta maiores níveis de iluminância do que a sala voltada a norte (3208). Nesta situação, o que se verifica é que o mal dimensionamento das aberturas, não considerando as edificações do entorno podem levar a níveis inadequados de iluminância no interior do ambiente. Na orientação solar sul, quando o céu está nublado, as aberturas mal dimensionadas, não permitem níveis de iluminância adequados nos pontos mais afastados das mesmas, obrigando o acionamento da iluminação artificial de toda sala, uma vez que o circuito da iluminação artificial é paralelo ao quadro e não às aberturas. Na orientação norte, não permitem níveis adequados em nenhum ponto do ambiente, obrigando o uso da iluminação artificial durante todo dia.

4.4.2.3 Salas de aula 3209 e 3270

As salas de aula 3209 e 3270 possuem dimensões, disposição dos móveis e luminárias, altura das aberturas, desenho da proteção solar e posição onde os luxímetros foram instalados, conforme mostram a Figura 4.63 e a Figura 4.64.

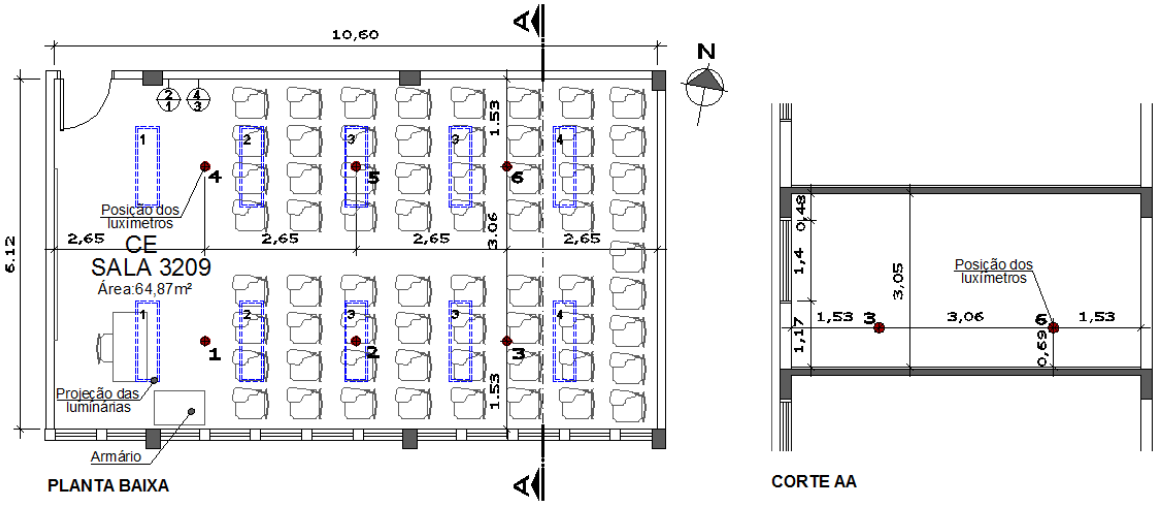


Figura 4.63 – Planta baixa e corte esquemáticos da sala de aula 3209 do CE
Fonte: adaptado de UFSM (2011)

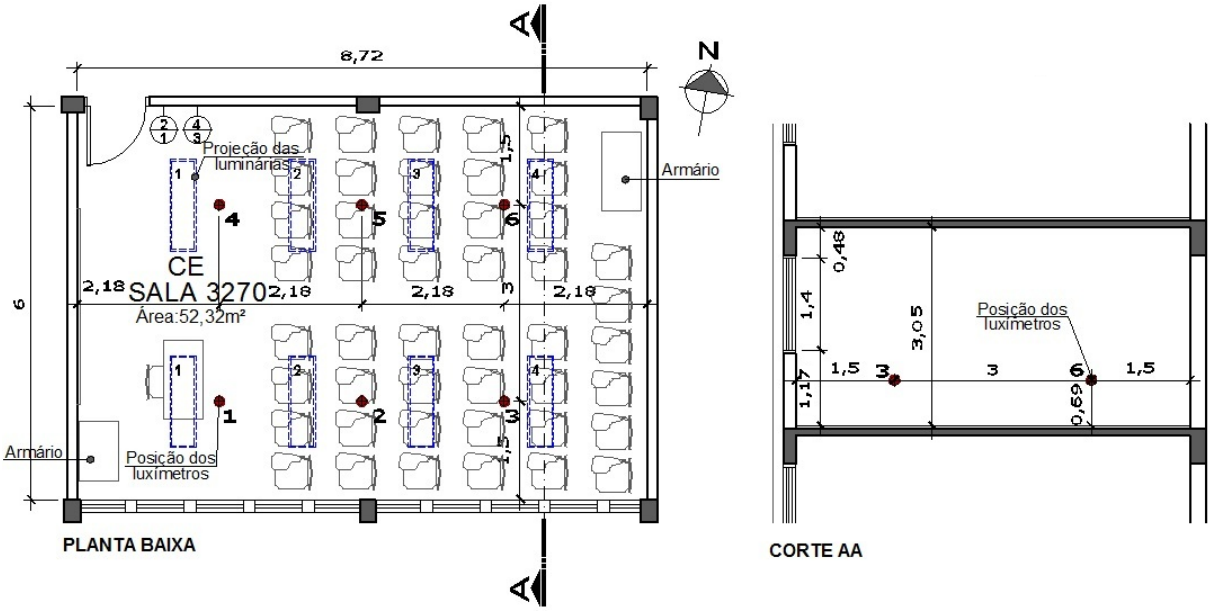


Figura 4.64 – Planta baixa e corte esquemáticos da sala de aula 3270 do CE
Fonte: adaptado de UFSM (2011)

Os ambientes possuem características físicas conforme mostram a Figura 4.65, a Figura 4.66 e o Quadro 4.4. De acordo com o que foi apresentado na Tabela 2.1, do item 2.4, da revisão bibliográfica, nestas salas, apenas o coeficiente de reflexão das paredes está de acordo com os valores recomendados para ambientes como os de salas de aula.

Figura 4.65 – Imagens da sala de aula 3209 do CE

Figura 4.66 – Imagens da sala de aula 3270 do CE

Características	Sala de aula 3209	Sala de aula 3270
Dimensões	10,60m x 6,12m x 3,05m	8,72m x 6,00m x 3,05m
Orientação solar	Sul	Sul
Cor do piso	Salmão / coeficiente de reflexão = 50%	Salmão / coeficiente de reflexão = 50%
Cor das paredes	Bege / coeficiente de reflexão = 50%	Bege / coeficiente de reflexão = 50%
Cor do teto	Bege / coeficiente de reflexão = 50%	Bege / coeficiente de reflexão = 50%
Cor do mobiliário	Marrom / coeficiente de reflexão = 30%	Cinza / coeficiente de reflexão = 30%
Aberturas	Basculante metálica, vidro incolor	Basculante metálica, vidro incolor
Proteção solar externa	Não possui	Não possui
Proteção solar interna	Cortina tipo *blackout* bege	Persiana vertical de tecido cinza claro
Obstrução externa	Não possui	Edificação em frente às aberturas coeficiente de reflexão = 50%
Luminárias	10 calhas espelhadas suspensas em trilhos	8 calhas espelhadas suspensas em trilhos
Lâmpadas por luminária	4 fluorescentes de 40W	4 fluorescentes de 40W
Reator	Eletro magnético 2x40W / perdas - 15W	Eletro magnético 2x40W / perdas - 15W
Potência total	1900W	1520W

Quadro 4.4 – Características físicas da sala 3209 e 3270 do CE

A face externa das salas de aula possui revestimento em reboco pintado nas cores bege e amarelo escuro. Na sala 3209 não existe obstrução em frente às aberturas, como mostra a Figura 4.67 e na sala 3270, a edificação em frente às aberturas (obstrução), possui as mesmas características da face externa da sala, pois faz parte da mesma edificação, como mostra a Figura 4.68.

Figura 4.67 – Imagens, respectivamente, da face externa da sala 3209 e do ambiente externo, em frente às aberturas

Figura 4.68 – Imagens, respectivamente, da face externa da sala 3270 e da obstrução em frente às aberturas

A edificação em frente às aberturas (obstrução), da sala 3270, possui 11,44m de altura e está a 10,60m de distância da sala, como mostra a Figura 4.69.

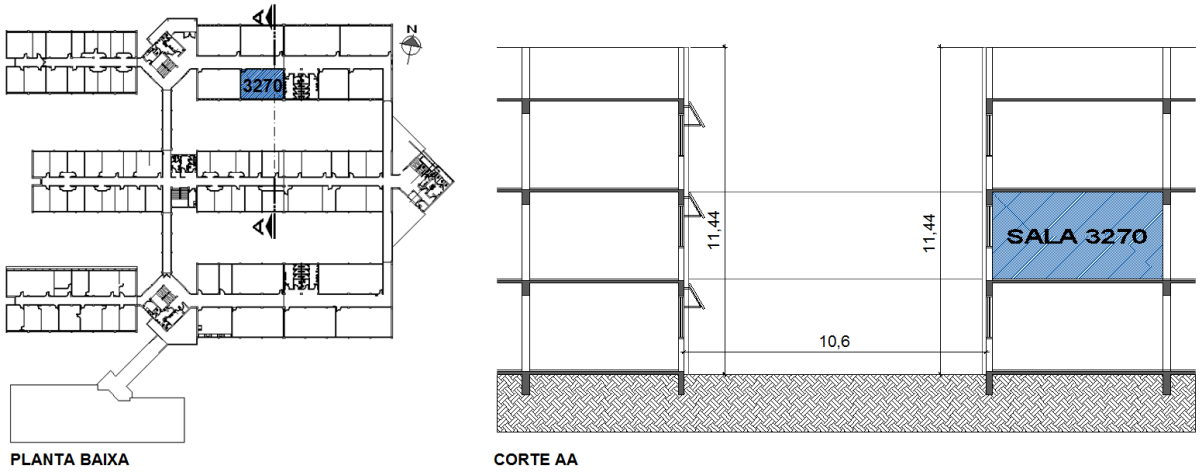


Figura 4.69 – Planta baixa e corte esquemáticos, mostrando a distância e a altura da edificação em frente à sala 3270
Fonte: adaptado de UFSM (2011)

A Figura 4.70 e a Figura 4.71 mostram as máscaras de obstrução desenvolvidas, para cada ponto onde foram instalados os luxímetros, com suas respectivas porcentagens de obstrução do céu visível, devido aos pilares existentes entre as aberturas e à edificação em frente à sala de aula.

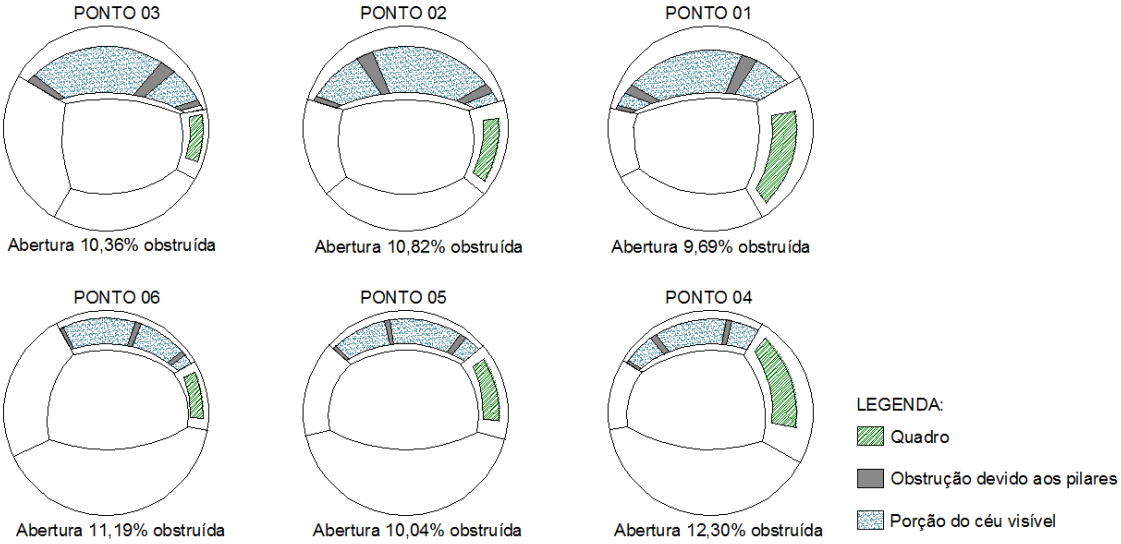


Figura 4.70 – Máscara de obstrução de cada ponto onde foram realizadas as medições da sala 3209

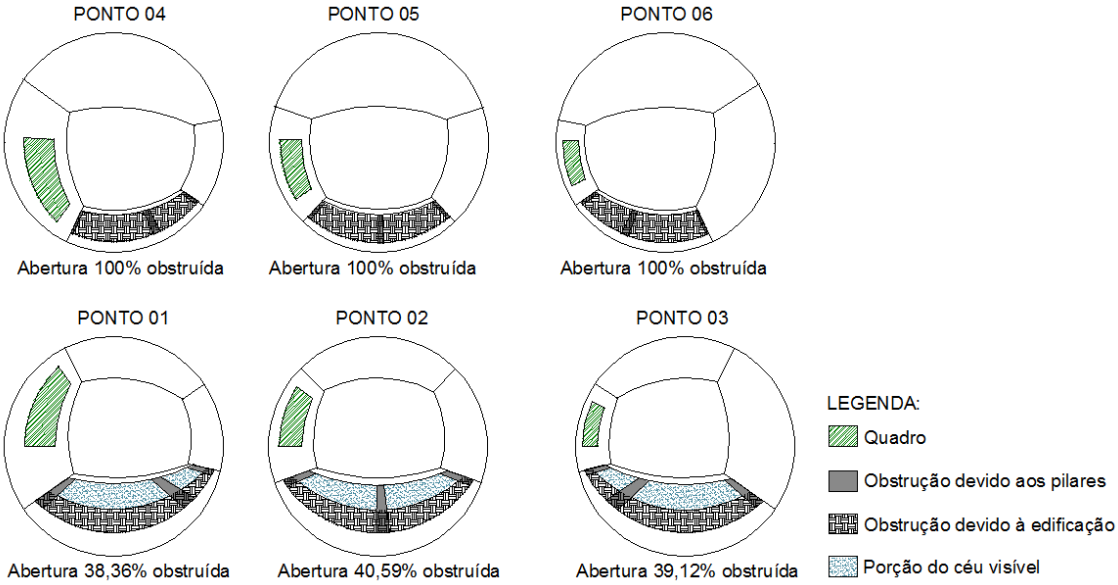


Figura 4.71 - Máscara de obstrução de cada ponto onde foram realizadas as medições da sala 3270

4.4.3 Medições das salas 3209 e 3270 do CE

A medição das salas de aula 3209 e 3270 do CE foi tomada no final de semana dos dias 17/03/12 e 18/03/12 sob condição de céu claro, como mostram as fotografias da Figura 4.72, obtidas, respectivamente, no período da manhã, em torno de meio dia e durante a tarde.

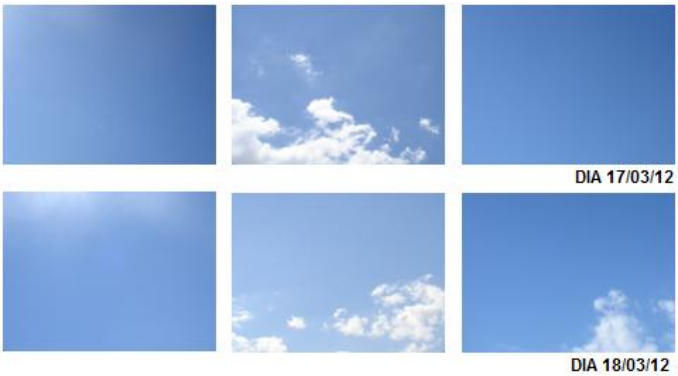


Figura 4.72 - Fotografias do céu obtidas ao longo dos dias 17/03/12 e 18/03/12

A Tabela 4.15 e a Tabela 4.16 mostram os coeficientes de CIN e os níveis de iluminância em lux, de cada ponto onde foram realizadas as medições das salas 3209 e 3270 respectivamente, no dia 18/03/12 quando foi medida apenas a iluminação natural.

Tabela 4.15 - Coeficientes de CIN e níveis de iluminância da sala 3209

Dia 18/03/2012												
Horário	Sala de aula 3209											
	Ponto 01		Ponto 02		Ponto 03		Ponto 04		Ponto 05		Ponto 06	
	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux
08:30	1,46%	627,60	1,51%	645,7	1,65%	706,1	0,80%	344,1	0,72%	307,0	0,66%	284,4
09:30	1,14%	685,40	1,19%	717,6	1,30%	780,4	0,66%	396,5	0,61%	369,2	0,60%	359,9
10:30	0,94%	690,90	0,99%	728,4	1,08%	791,5	0,57%	416,3	0,53%	392,6	0,53%	390,3
11:30	0,84%	677,10	0,88%	713,6	0,96%	775,7	0,52%	423,0	0,49%	397,0	0,49%	394,8
12:30	0,80%	645,90	0,84%	679,8	0,91%	737,9	0,51%	415,7	0,47%	383,0	0,47%	378,4
13:30	0,84%	615,20	0,88%	647,1	0,95%	699,3	0,55%	406,7	0,50%	368,1	0,49%	358,2
14:30	0,97%	584,9	1,02%	612,7	1,10%	661,0	0,65%	390,6	0,58%	349,3	0,55%	332,2
15:30	1,29%	554,0	1,36%	584,2	1,46%	625,1	0,84%	358,9	0,74%	315,8	0,68%	293
16:30	2,06%	495,40	2,18%	523,5	2,33%	560,2	1,29%	309,4	1,12%	269,7	1,00%	240,3

De acordo com a Tabela 4.15, os níveis de iluminância, com exceção do ponto 01 no horário das 16:30h, não correspondem aos coeficientes de CIN, pois no ponto 02 e 03, às 16:30h enquanto os níveis de iluminância são superiores ao mínimo recomendado para condições críticas (500 lux), os coeficientes de CIN estão dentro do intervalo recomendado pelas normas internacionais (2 a 5%), além disso, no restante do dia, os coeficientes de CIN são inferiores a 2% enquanto os níveis de iluminância são superiores ou estão de acordo com os valores médios mínimos recomendados (200 a 500 lux).

Tabela 4.16 - Coeficientes de CIN e níveis de iluminância da sala 3270

Dia 18/03/2012												
Horário	Sala de aula 3270											
	Ponto 01		Ponto 02		Ponto 03		Ponto 04		Ponto 05		Ponto 06	
	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux
08:30	1,11%	476,7	0,95%	409,6	1,02%	437,5	0,39%	166,3	0,47%	203,2	0,43%	182,7
09:30	1,25%	749,1	1,06%	637,9	1,19%	716,7	0,58%	345,9	0,71%	424,0	0,64%	384,1
10:30	1,35%	994,0	1,15%	846,2	1,32%	967,9	0,74%	544,9	0,89%	655,0	0,80%	585,0
11:30	1,50%	1211	1,25%	1007	1,36%	1101	0,90%	723,9	1,06%	854,2	0,93%	751,8
12:30	1,68%	1356	1,38%	1119	1,54%	1241	1,06%	853,4	1,23%	992,7	1,07%	862,2
13:30	1,93%	1413	1,58%	1158	1,77%	1297	1,25%	919,6	1,42%	1041	1,23%	906,2
14:30	2,30%	1385	1,89%	1134	2,12%	1274	1,52%	915,3	1,70%	1024	1,47%	882,3
15:30	2,86%	1227	2,35%	1007	2,62%	1122	1,85%	793,4	2,04%	875,0	1,75%	749,8
16:30	3,98%	954,0	3,30%	793,0	3,61%	866,0	2,45%	587,9	2,72%	653,2	2,30%	550,8

Segundo a Tabela 4.16, os níveis de iluminância não correspondem aos coeficientes de CIN em nenhum momento, pois das 14:30h às 16:30h nos pontos 01 e 03, das 15:30h às 16:30h nos pontos 02 e 05 e às 16:30h nos pontos 04 e 06, enquanto os coeficientes de CIN se encontram de acordo com o intervalo recomendado pelas normas internacionais (2 a 5%), os níveis de iluminância são superiores aos valores médios mínimos recomendado pela NBR 5413 (200 a 500 lux), além disso, no restante do dia, os coeficientes de CIN são inferiores a 2%, enquanto os níveis de iluminância estão de acordo ou são superiores ao recomendado pela norma (200 a 500 lux).

A Figura 4.73 mostra a disposição das luminárias e a situação das lâmpadas nas salas de aula 3270 e 3209 do CE, no dia 17/03/12, quando foi realizada a medição com iluminação natural mais artificial.

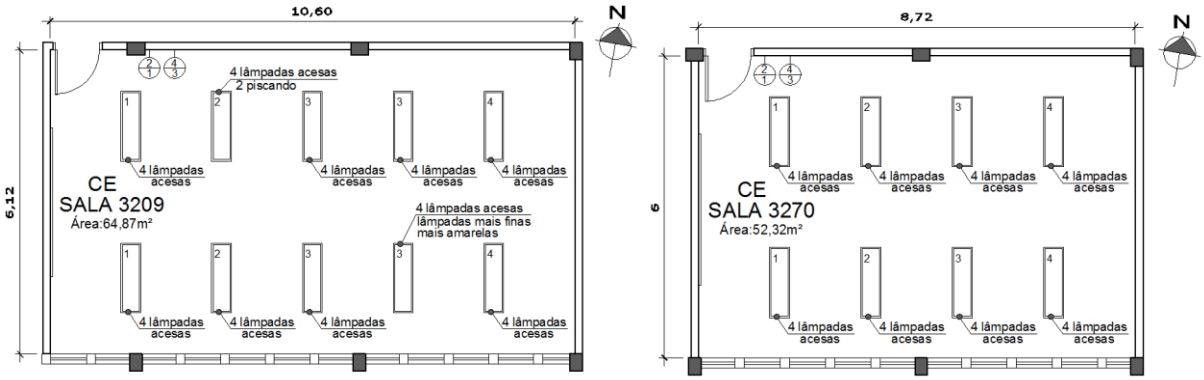


Figura 4.73 – Posição das luminárias e situação das lâmpadas nas salas 3270 e 3209 do CE
Fonte: adaptado de UFSM (2011)

A Figura 4.74 apresenta os gráficos com os resultados obtidos para a sala 3209 e 3270 quando medida apenas a iluminação natural.

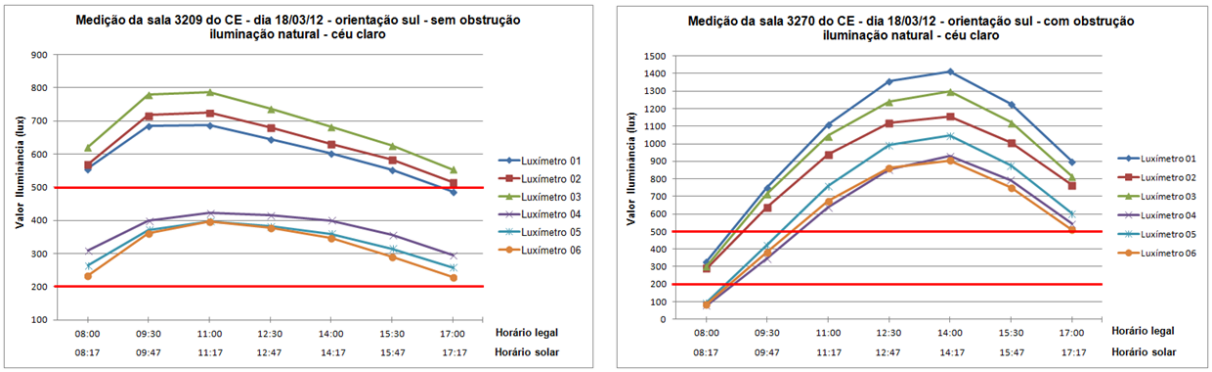


Figura 4.74 – Gráficos dos níveis de iluminância da salas de aula 3209 e 3270 do CE, quando medida apenas a iluminação natural

De acordo com o gráfico da Figura 4.74, quando medida apenas a iluminação natural nas salas 3209 e 3270, sob condição de céu claro, os níveis de iluminância nos pontos mais próximos das aberturas são superiores aos dos mais afastados e

além disso, a distribuição é uniforme ao longo do dia, crescendo no período da manhã e decaindo à tarde.

Na sala 3209, durante todo dia, os níveis de iluminância são superiores ao mínimo recomendado para condições críticas, nos pontos mais próximos das aberturas e se encontram de acordo com os valores médios mínimos recomendados (200 a 500 lux) nos mais afastados, mostrando que a iluminação artificial, neste caso, é desnecessária ao longo do dia.

Na sala 3270, nos pontos mais próximos das aberturas, os níveis são superiores a 500 lux na maior parte do dia, se encontrando de acordo com os valores médios mínimos recomendado pela NBR 5413 (200 a 500 lux) apenas no início da manhã, até por volta de 9:00h (horário legal). Nos pontos mais afastados, no início da manhã, até por volta das 8:30h (horário legal) os níveis são baixos, menores do que a norma recomenda, após esse horário, eles crescem e se mantém na faixa dos 200 a 500 lux até aproximadamente 10:00h (horário legal), quando, assim como nos pontos mais próximos das aberturas, se tornam superiores a 500 lux. Para esta situação, fica claro a inexistência da necessidade do uso de iluminação artificial após as 8:30h (horário legal) nos pontos mais afastados e durante todo dia nos mais próximos.

Com relação à medição com iluminação natural mais artificial, os resultados obtidos para as salas 3209 e 3270, apresentam-se nos gráficos da Figura 4.75.

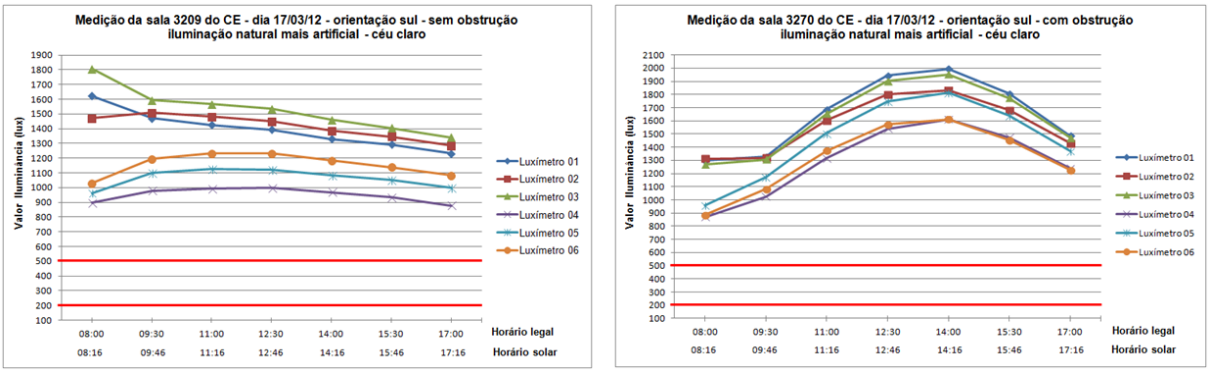


Figura 4.75 – Gráficos dos níveis de iluminância das salas de aula 3209 e 3270 do CE, quando medida iluminação natural mais artificial

Segundo o gráfico da Figura 4.75, tanto na sala 3209, quanto na 3270, a distribuição dos níveis é uniforme e em todos os pontos eles são superiores ao mínimo recomendado pela norma para condições críticas (500 lux) durante todo dia, mostrando que para estas situações há um gasto desnecessário de energia elétrica e, além disso, os altos níveis de iluminância podem causar desconforto visual em ambas as salas.

Ao comparar os resultados obtidos nas duas salas, ambas com orientação solar sul, verificou-se que a sala 3209, mesmo sem obstrução externa e com maior área de aberturas, alcançou menores níveis de iluminância do que a sala 3270, que possui obstrução externa e uma área menor de aberturas. Os resultados apontam que a presença da obstrução, neste caso, potencializa a iluminação natural devido à contribuição do componente de reflexão externa para a luz natural disponível no interior. Ou seja, para esta situação específica, as aberturas voltadas a sul com obstrução poderiam ter uma área menor, o que iria ao encontro do desempenho térmico dessas salas, uma vez que, para o clima local, os cômodos voltados a sul são mais frios, exigindo aberturas menores para diminuir perdas de calor através de fechamentos transparentes. O que se verifica é que o tratamento das aberturas no que diz respeito à área levando em consideração apenas a orientação solar, pode levar a um superdimensionamento das mesmas, promovendo o aumento dos níveis de iluminância que podem causar desconforto visual, e, consequentemente, o fechamento de cortinas e acionamento da iluminação artificial.

4.4.3.1 Salas de aula 3208 e 3269

As salas de aula 3208 e 3269 possuem dimensões, disposição dos móveis e luminárias, altura das aberturas, desenho da proteção solar e posição onde os luxímetros foram instalados, conforme mostram a Figura 4.76 e a Figura 4.77.

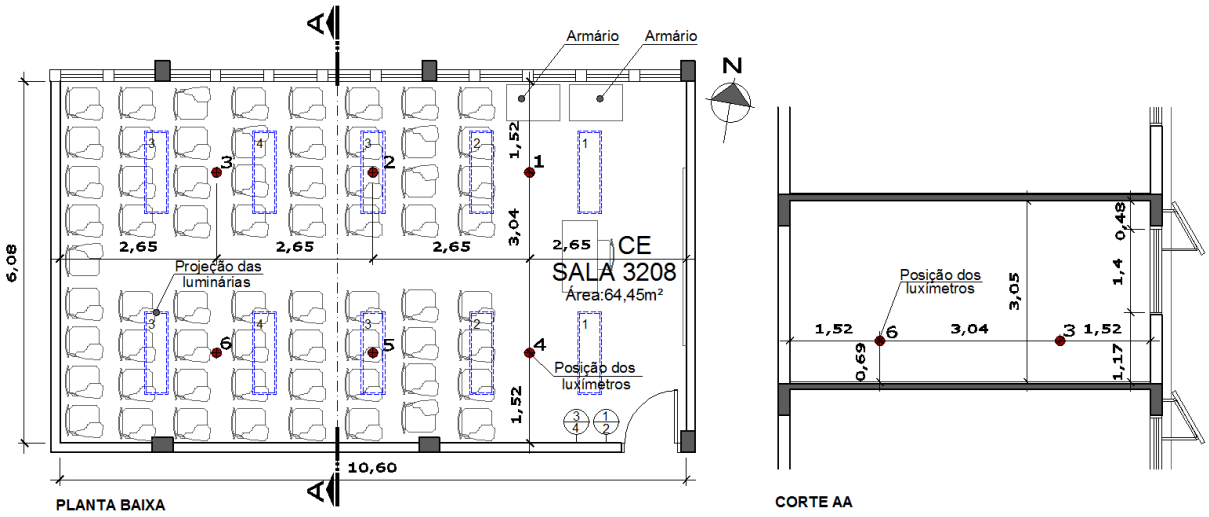


Figura 4.76 – Planta baixa e corte esquemáticos da sala de aula 3208 do CE
Fonte: adaptado de UFSM (2011)

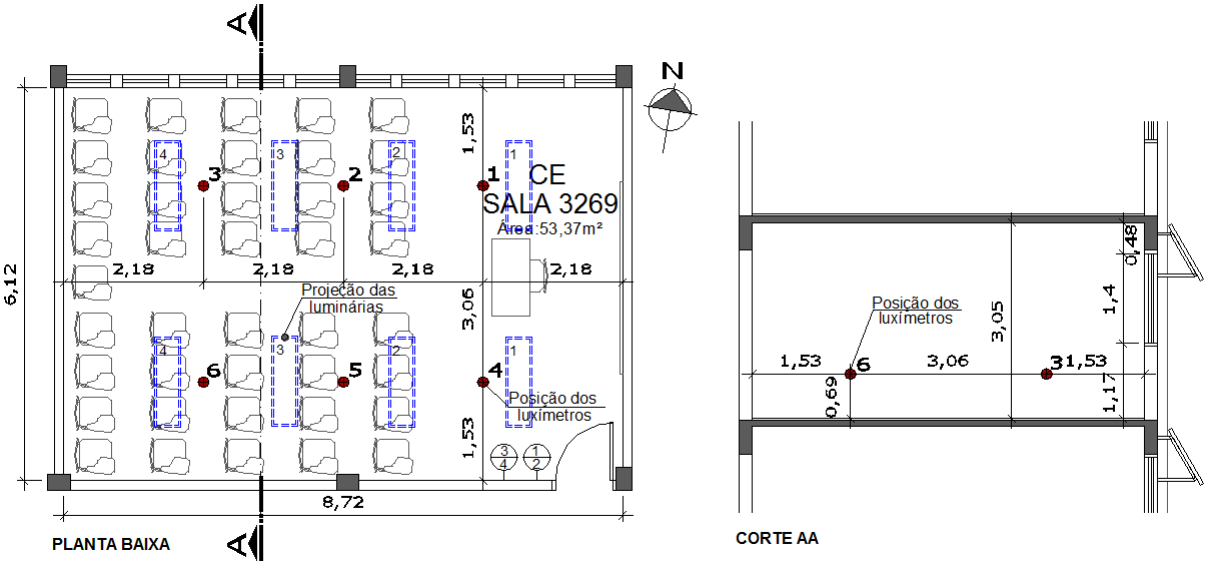


Figura 4.77 – Planta baixa e corte esquemáticos da sala de aula 3269 do CE
Fonte: adaptado de UFSM (2011)

Os ambientes possuem características físicas conforme mostram a Figura 4.78, a Figura 4.79 e o Quadro 4.5. De acordo com o que foi apresentado na Tabela 2.3, do item 2.4, da revisão bibliográfica, nestas duas sala, apenas o coeficiente de reflexão das paredes está de acordo com os valores recomendados para ambientes como os de salas de aula.

Figura 4.78 – Imagens da sala de aula 3208 do CE

Figura 4.79 – Imagens da sala de aula 3269 do CE

(continua)

Características	Sala de aula 3208	Sala de aula 3269
Dimensões	10,60m x 6,08m x 3,05m	8,72m x 6,12m x 3,05m
Orientação solar	Norte	Norte
Cor do piso	Salmão / coeficiente de reflexão = 50%	Salmão / coeficiente de reflexão = 50%
Cor das paredes	Bege / coeficiente de reflexão = 50%	Bege / coeficiente de reflexão = 50%
Cor do teto	Bege / coeficiente de reflexão = 50%	Bege / coeficiente de reflexão = 50%
Cor do mobiliário	Marrom / coeficiente de reflexão = 30%	Verde claro / coeficiente de reflexão = 50%
Aberturas	Basculante metálica, vidro incolor	Basculante metálica, vidro incolor
Proteção solar externa	Inclinada, de fibrocimento coeficiente de reflexão = 30%	Inclinada, de fibrocimento coeficiente de reflexão = 30%
Proteção solar interna	Cortina tipo *blackout* bege	Cortina tipo *blackout* cinza
Obstrução externa	Edificação em frente às aberturas coeficiente de reflexão = 50%	Não possui

(conclusão)

Luminárias	10 calhas espelhadas suspensas em trilhos	8 calhas espelhadas suspensas em trilhos
Lâmpadas por luminária	4 fluorescentes de 40W	4 fluorescentes de 40W
Reator	Eletro magnético 2x40W / perdas - 15W	Eletro magnético 2x40W / perdas - 15W
Potência total	1900W	1520W

Quadro 4.5 – Características físicas da sala 3208 e 3269 do CE

A face externa das salas de aula possui revestimento em reboco pintado nas cores bege e amarelo escuro. Na sala 3208, a edificação em frente às aberturas (obstrução), possui as mesmas características da face externa da sala, pois faz parte da mesma edificação, como mostra a Figura 4.80 e na sala 3269 não existe obstrução em frente às aberturas, como mostra a Figura 4.81.

Figura 4.80 - Imagens, respectivamente, da face externa da sala 3208 e da obstrução em frente às aberturas

Figura 4.81 – Imagens, respectivamente, da face externa da sala 3269 e do ambiente externo, em frente às aberturas

A edificação em frente às aberturas (obstrução), da sala 3208, possui 11,44m de altura, e está a 10,60m de distância, como mostra a Figura 4.82.

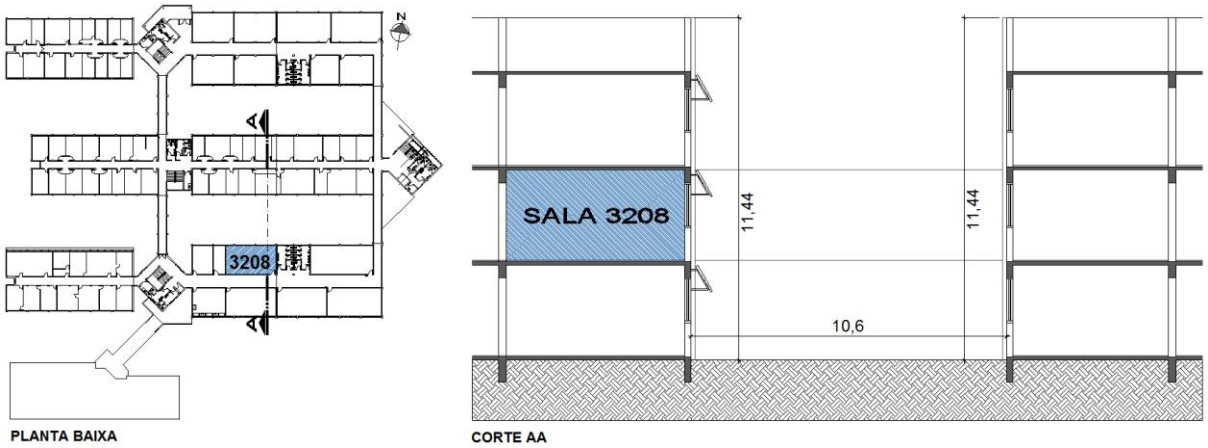


Figura 4.82 – Planta baixa e corte esquemáticos, mostrando a distância e a altura da edificação em frente à sala 3208
Fonte: adaptado de UFSM (2011)

A Figura 4.83 e a Figura 4.84Figura 4.53 mostram as máscaras de obstrução desenvolvidas, para cada ponto onde foram instalados os luxímetros, com suas respectivas porcentagens de obstrução do céu, devido aos pilares existentes entre as aberturas e à edificação em frente à sala de aula.

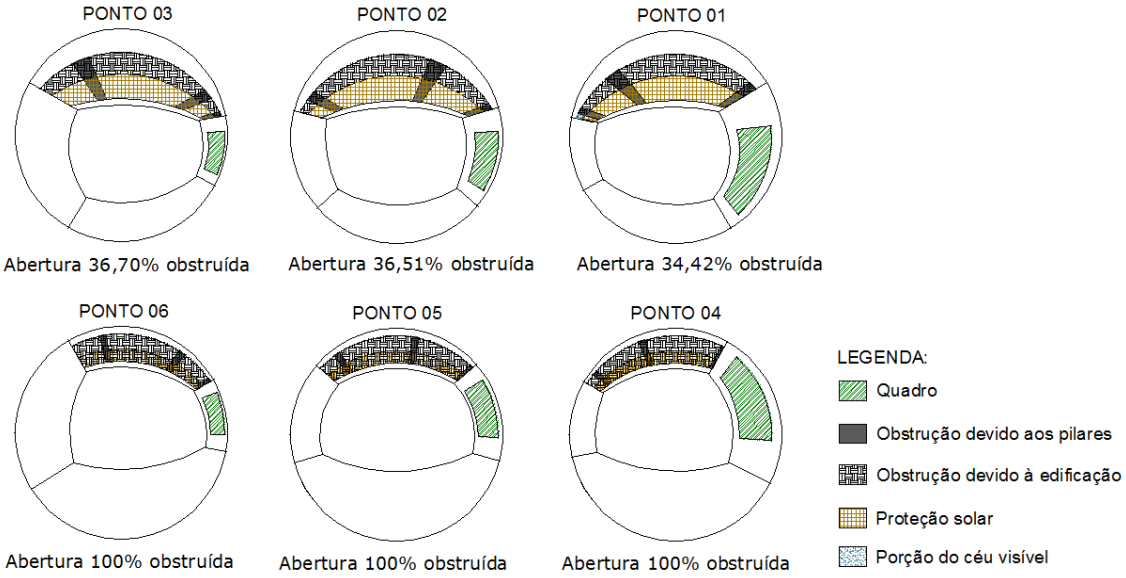


Figura 4.83 – Máscara de obstrução de cada ponto onde foram realizadas as medições da sala 3208

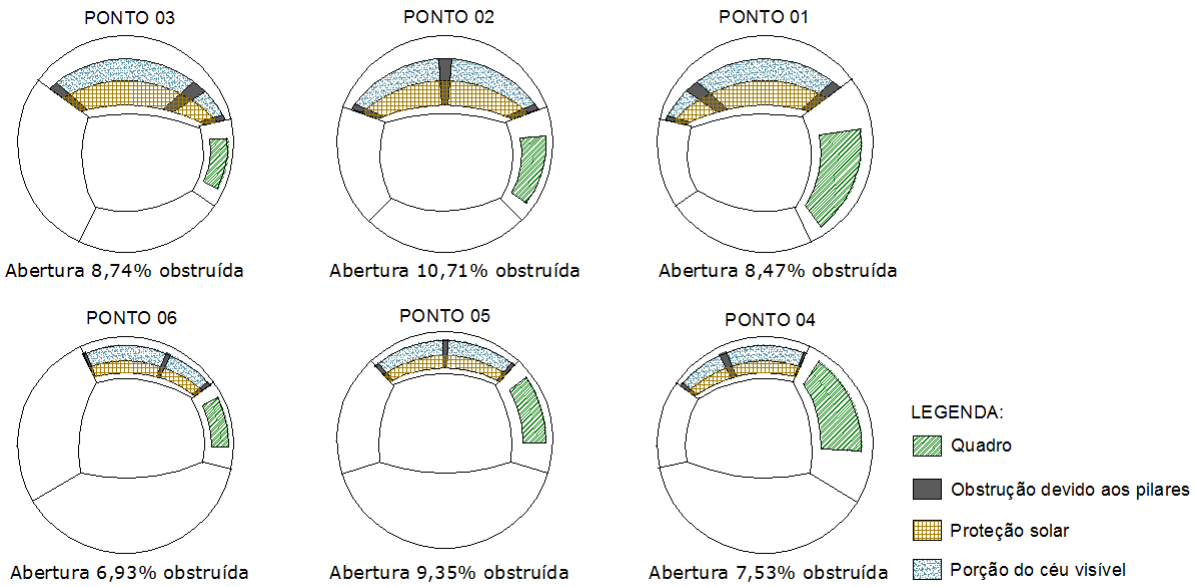


Figura 4.84 – Máscara de obstrução de cada ponto onde foram realizadas as medições da sala 3269

4.4.4 Medições das salas 3208 e 3269 do CE

As medições das salas de aula 3208 e 3269 do CE foram tomadas nos finais de semana dos dias 24/03/12 e 25/03/12 sob condição de céu claro e 28/07/12 e 29/07/12 sob condição de céu encoberto e claro no primeiro dia e céu parcialmente encoberto no segundo.

4.4.4.1 Resultados dos dias 24/03/12 e 25/03/12

As medições dos dias 24/03/12 e 25/03/12, foram realizadas sob condição de céu claro, como mostram as fotografias da Figura 4.85, obtidas, respectivamente, no período da manhã, em torno de meio dia e durante a tarde.

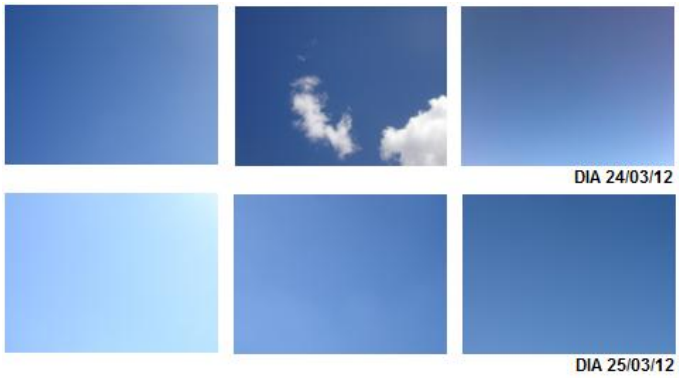


Figura 4.85 - Fotografias do céu obtidas ao longo dos dias 24/03/12 e 25/03/12

A Tabela 4.17 e a Tabela 4.18 mostram os coeficientes de CIN e os níveis de iluminância em lux, de cada ponto onde foram realizadas as medições das salas 3208 e 3269 respectivamente, no dia 25/03/12 quando foi medida apenas a iluminação natural.

Tabela 4.17 - Coeficientes de CIN e níveis de iluminância da sala 3208

Dia 25/03/2012												
Horário	Sala de aula 3208											
	Ponto 01		Ponto 02		Ponto 03		Ponto 04		Ponto 05		Ponto 06	
	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux
08:30	0,22%	94,99	0,33%	138,5	0,25%	105,5	0,12%	51,57	0,13%	57,06	0,15%	62,06
09:30	0,40%	242,70	0,51%	305,3	0,43%	261,1	0,19%	117,1	0,21%	123,9	0,22%	135,3
10:30	0,44%	325,30	0,53%	397,0	0,50%	371,6	0,22%	164,4	0,24%	181,4	0,27%	202,1
11:30	0,49%	398,60	0,58%	475,0	0,53%	435,1	0,26%	212,6	0,28%	231,0	0,31%	255,9
12:30	0,53%	436,10	0,62%	505,7	0,53%	436,4	0,29%	235,9	0,30%	245,0	0,33%	266,7
13:30	0,56%	416,00	0,67%	501,1	0,56%	420,3	0,30%	226,9	0,32%	239,8	0,35%	258,9
14:30	0,63%	378,3	0,78%	473,7	0,65%	395,5	0,35%	208,5	0,38%	227,6	0,41%	249,4
15:30	0,87%	369,2	1,00%	427,1	0,86%	366,8	0,46%	195,5	0,48%	206,1	0,52%	220,8
16:30	1,37%	312,60	1,74%	397,7	1,51%	345,4	0,70%	160,0	0,78%	177,4	0,89%	202,5

De acordo com a Tabela 4.17, os níveis de iluminância correspondem aos coeficientes de CIN apenas às 08:30h no ponto 01, 02 e 03, das 08:30h às 10:30h e após às 15:30h no ponto 04, das 8:30h às 10:30h e às 16:30h no ponto 05 e das 08:30h às 09:30h no ponto 06, quando tanto os coeficientes de CIN quanto os níveis

de iluminância são inferiores ao que recomendam suas respectivas normas (2 a 5% e 200 a 500 lux). No restante do dia, enquanto os coeficientes de CIN são inferiores a 2%, os níveis de iluminância são superiores ou estão de acordo com os valores médios mínimos recomendados pela norma (200 a 500 lux).

Tabela 4.18 - Coeficientes de CIN e níveis de iluminância da sala 3269

Dia 25/03/2012												
Horário	Sala de aula 3269											
	Ponto 01		Ponto 02		Ponto 03		Ponto 04		Ponto 05		Ponto 06	
	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux
08:30	1,47%	626,8	1,74%	740,1	1,52%	648,5	0,42%	178,2	0,56%	236,6	0,53%	225,5
09:30	1,08%	651,9	1,21%	733,1	1,13%	684,8	0,47%	284,9	0,57%	342,4	0,54%	323,2
10:30	1,06%	785,4	1,16%	864,4	1,14%	849,6	0,46%	339,1	0,55%	411,1	0,52%	388,0
11:30	1,06%	866,5	1,15%	944,3	1,12%	920,9	0,46%	378,3	0,56%	457,3	0,52%	429,1
12:30	1,12%	914,5	1,20%	986,0	1,13%	925,5	0,49%	399,4	0,58%	477,0	0,54%	440,2
13:30	1,34%	996,0	1,41%	1050	1,33%	992,1	0,56%	415,9	0,66%	487,8	0,59%	439,9
14:30	1,49%	902,0	1,65%	997,0	1,45%	873,1	0,68%	410,6	0,78%	470,1	0,68%	412,9
15:30	2,30%	980,0	2,58%	1100	2,27%	964,9	0,97%	411,2	1,10%	468,6	0,97%	412,9
16:30	3,58%	817,0	4,01%	913,5	3,32%	756,9	1,59%	363,2	1,76%	401,4	1,53%	349,8

De acordo com a Tabela 4.18, o coeficiente de CIN corresponde ao nível de iluminância apenas às 08:30h no ponto 04, pois após às 15:30h nos pontos 01, 02 e 03, enquanto os níveis são superiores ao mínimo recomendado para condições críticas (500 lux), os coeficientes de CIN se enquadram no intervalo recomendado pelas normas internacionais (2 a 5%), além disso, no restante do dia, os níveis de iluminância são superiores ou estão de acordo com os valores médios mínimos recomendados (200 a 500 lux) enquanto os coeficientes de CIN são inferiores a 2%.

A Figura 4.86 mostra a disposição das luminárias e a situação das lâmpadas nas salas de aula 3208 e 3269 do CE, no dia 24/03/12, quando foi realizada a medição com iluminação natural mais artificial.

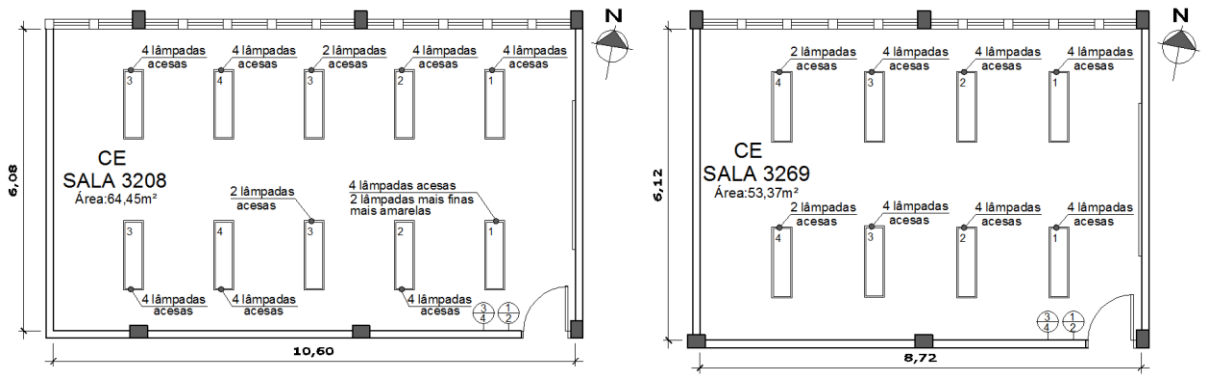


Figura 4.86 – Posição das luminárias e situação das lâmpadas nas salas 3208 e 3269 do CE
Fonte: adaptado de UFSM (2011)

A Figura 4.87 apresenta os gráficos com os resultados obtidos para a sala 3208 e 3269 quando medida apenas a iluminação natural.

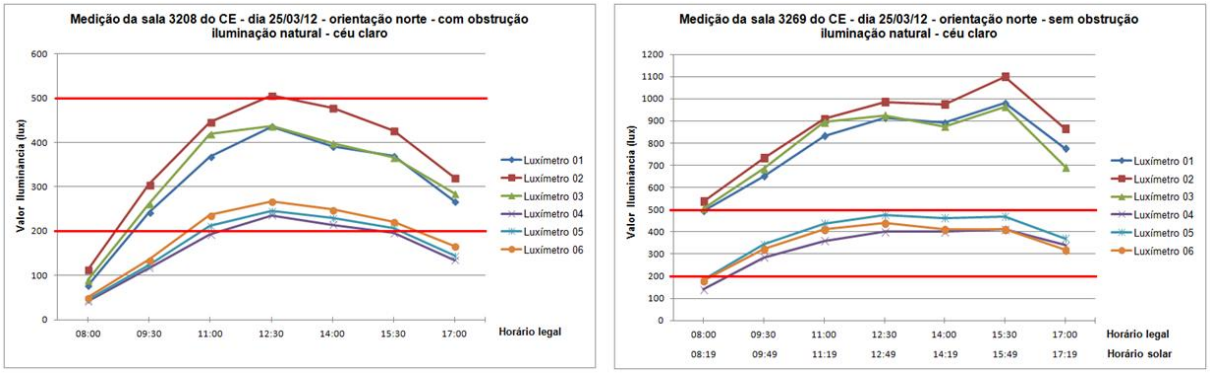


Figura 4.87 – Gráficos dos níveis de iluminância das salas de aula 3208 e 3269 do CE, quando medida apenas a iluminação natural

De acordo com o gráfico da Figura 4.87, quando medida apenas a iluminação natural das salas 3208 e 3269, sob condição de céu claro, conforme esperado, os níveis de iluminância são maiores nos pontos mais próximos das aberturas dos que nos mais afastados.

Na sala 3208, nos pontos mais próximos das aberturas, os níveis se encontram de acordo com os valores médios mínimos recomendados pela norma (200 a 500 lux), não sendo necessário o uso da iluminação artificial, na maior parte

do dia, ficando abaixo apenas no início da manhã, até por volta das 9:00h (horário legal). Nos pontos mais afastados, os níveis também se encontram de acordo com o que recomenda a norma, porém, apenas nos horários compreendidos entre aproximadamente 11:00h e 15:30h (horário legal), no restante do tempo os níveis são insuficientes, sendo necessário a utilização da iluminação artificial.

Na sala 3269, nos pontos mais próximos, os níveis são superiores ao mínimo recomendado para condições críticas (500 lux) durante todo dia. Nos pontos mais afastados, com exceção do início da manhã, até por volta das 8:15h (horário legal), os níveis se encontram de acordo com os valores médios mínimos recomendados pela norma (200 a 500 lux). Neste caso, os resultados mostram que a proteção solar existente nas aberturas (inclinada de concreto), para esta situação específica, não conseguem controlar os altos níveis de iluminância, pois a iluminação natural não só é suficiente em todos os horários analisados, como chega a ser superior ao mínimo recomendado para condições críticas.

Com relação à medição com iluminação natural mais artificial, os resultados obtidos para as salas 3208 e 3269, apresentam-se nos gráficos da Figura 4.88.

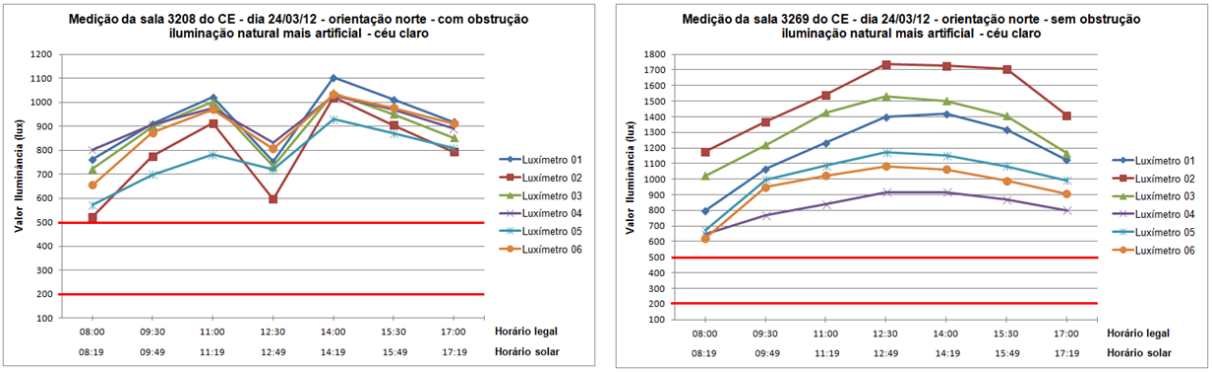


Figura 4.88 – Gráficos dos níveis de iluminância das salas de aula 3208 e 3269 do CE, quando medida a iluminação natural mais artificial

Segundo o gráfico da Figura 4.88, nas salas 3208 e 3269, em todos os pontos, tanto nos mais afastados como nos mais próximos das aberturas, os níveis são superiores ao mínimo recomendado para condições críticas (500 lux), durante todo dia, mostrando que nestas duas situações, mesmo nos períodos em que a

iluminação artificial se faz necessária, ela está superdimensionada e pode ser reduzida a fim de diminuir gastos com energia elétrica.

Na sala 3208, devido à má conservação do sistema de iluminação artificial (lâmpadas queimadas), os níveis de iluminância não estão distribuídos uniformemente.

Na sala 3269, a distribuição é uniforme, crescendo no período da manhã e decaindo durante a tarde, além disso, os níveis são menores nos pontos 01 e 04, mais próximos da parede em que se encontra o quadro, do que nos pontos 02 e 03 e os pontos 05 e 06, respectivamente, em função das más condições do sistema de iluminação artificial, já que nas luminárias mais próximas ao quadro, haviam lâmpadas queimadas.

Ao comparar os resultados obtidos nas duas salas, ambas com orientação solar norte, verificou-se que a sala com obstrução externa (3208), alcançou menores níveis de iluminância em comparação com a sala sem obstrução, (3269), evidenciando o fato de que a edificação existente em frente às aberturas da sala 3208 obstrui a passagem da luz natural, principalmente no início da manhã e no fim da tarde. Neste caso, na sala 3269 os níveis de iluminância registrados foram superiores ao mínimo recomendado para condições críticas e na 3208 foram em grande parte adequados. A obstrução a norte, quando o céu está claro, parece favorecer o controle do excesso de iluminância, quando o tamanho das aberturas projetadas não leva em consideração a parcela maior de céu visível e as proteções solares são inadequadas. Ou seja, a adoção de um padrão único de abertura e proteção solar, para uma mesma orientação, sem levar em consideração o entorno, leva a níveis de iluminância elevados no ambiente onde não há obstrução externa, levando a um possível fechamento das cortinas (*blackout*), consequentemente, levando ao acionamento da iluminação artificial.

4.4.4.2 Resultados dos dias 28/07/12 e 29/07/12

As medições do dia 28/07/12 foram realizadas sob condição de céu encoberto até por volta das 13:00h, céu claro até aproximadamente 15:00h e novamente céu encoberto no restante do dia, já no dia 29/07/12, foram realizadas sob céu

parcialmente encoberto durante todo dia, como mostram as fotografias da Figura 4.89, obtidas, respectivamente, no período da manhã, em torno de 13:30h e durante a tarde.

Figura 4.89 - Fotografias do céu obtidas ao longo dos dias 28/07/12 e 29/07/12

A Tabela 4.19 e a Tabela 4.20 mostram os coeficientes de CIN e os níveis de iluminância em lux, de cada ponto onde foram realizadas as medições das salas 3208 e 3269 respectivamente, no dia 29/07/12 quando foi medida apenas a iluminação natural.

Tabela 4.19 - Coeficientes de CIN e níveis de iluminância da sala 3208

Dia 29/07/2012												
	Sala de aula 3208											
Horário	Ponto 01		Ponto 02		Ponto 03		Ponto 04		Ponto 05		Ponto 06	
	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux
08:30	0,41%	79,99	0,54%	106,0	0,48%	94,8	0,21%	41,8	0,21%	41,87	0,24%	46,84
09:30	0,27%	86,60	0,35%	115,0	0,31%	99,6	0,14%	46,66	0,15%	48,24	0,16%	52,03
10:30	0,23%	98,90	0,33%	137,0	0,27%	114,8	0,12%	51,76	0,13%	53,92	0,14%	58,18
11:30	0,31%	147,30	0,42%	201,3	0,36%	171,9	0,17%	78,5	0,17%	81,01	0,19%	88,06
12:30	0,26%	123,50	0,36%	171,3	0,30%	144,4	0,14%	65,41	0,14%	67,67	0,15%	73,45
13:30	0,29%	122,60	0,41%	170,6	0,34%	143,5	0,15%	63,75	0,16%	66,18	0,17%	71,55
14:30	0,62%	201,6	0,82%	266,8	0,72%	234,3	0,34%	109,5	0,35%	114,3	0,38%	122,8
15:30	0,58%	115,0	0,79%	155,6	0,67%	131,8	0,31%	60,17	0,31%	61,79	0,34%	66,73
16:30	1,08%	78,50	1,43%	104,5	1,24%	90,5	0,56%	40,85	0,57%	41,68	0,62%	45,18

Segundo a Tabela 4.19, os níveis de iluminância correspondem aos coeficientes de CIN em grande parte do dia, pois apenas às 11:30h, no ponto 02 e às 14:30h nos pontos 01, 02 e 03, os coeficientes de CIN são inferiores ao que recomendam as normas internacionais (2 a 5%) enquanto os níveis de iluminância estão de acordo com os valores médios mínimos recomendados pela NBR 5413 (200 a 500 lux), no restante do tempo, tanto os coeficientes de CIN, quanto os níveis de iluminância são inferiores ao que recomendam suas respectivas normas (2 a 5% e 200 a 500 lux).

Tabela 4.20 - Coeficientes de CIN e níveis de iluminância da sala 3269

Dia 29/07/2012												
Horário	Sala de aula 3269											
	Ponto 01		Ponto 02		Ponto 03		Ponto 04		Ponto 05		Ponto 06	
	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux	CIN	Lux
08:30	2,55%	502,9	2,08%	409,8	2,89%	570,1	0,55%	108,2	0,74%	145,9	0,81%	160,0
09:30	1,33%	431,0	0,91%	295,1	1,35%	438,9	0,30%	96,7	0,36%	117,9	0,36%	118,2
10:30	0,93%	389,6	0,63%	263,6	0,93%	391,7	0,22%	91,8	0,27%	115,6	0,27%	112,2
11:30	1,29%	611,8	0,85%	401,5	1,30%	615,3	0,30%	141,4	0,36%	172,0	0,34%	163,3
12:30	0,93%	440,3	0,64%	301,4	0,93%	440,7	0,23%	107,5	0,28%	131,7	0,26%	124,1
13:30	1,06%	447,2	0,75%	315,7	1,07%	450,0	0,26%	108,2	0,32%	133,7	0,31%	130,0
14:30	3,44%	1116	2,35%	760	3,24%	1051	0,76%	246,5	0,90%	292	0,76%	246,7
15:30	3,94%	775,5	2,93%	577,6	3,89%	767,1	0,79%	155,3	0,92%	180,9	0,82%	161,4
16:30	11,95%	872	12,75%	931	16,26%	1187	3,01%	219,6	3,19%	233,1	2,66%	201,1

De acordo com a Tabela 4.20, os níveis de iluminância correspondem aos coeficientes de CIN, apenas às 8:30h no ponto 02, às 16:30h nos pontos 01, 02 e 03 e das 08:30h às 13:30h e após às 15:30h nos pontos 04, 05 e 06, pois às 08:30h, nos pontos 01 e 03 e das 14:30h às 15:30h nos pontos 01, 02 e 03, enquanto os coeficientes de CIN se enquadram no intervalo recomendado pelas normas internacionais (2 a 5%), os níveis de iluminância são superiores ao mínimo recomendado pela norma para condições críticas (500 lux), além disso, no restante do tempo, os coeficientes de CIN são inferiores ao que recomendam as normas (2 a 5%) enquanto os níveis de iluminância são superiores ou estão de acordo com os valores médios mínimos recomendados (200 a 500 lux).

A Figura 4.90 mostra a disposição das luminárias e a situação das lâmpadas nas salas de aula 3208 e 3269 do CE, no dia 28/07/12, quando foi realizada a medição com iluminação natural mais artificial.

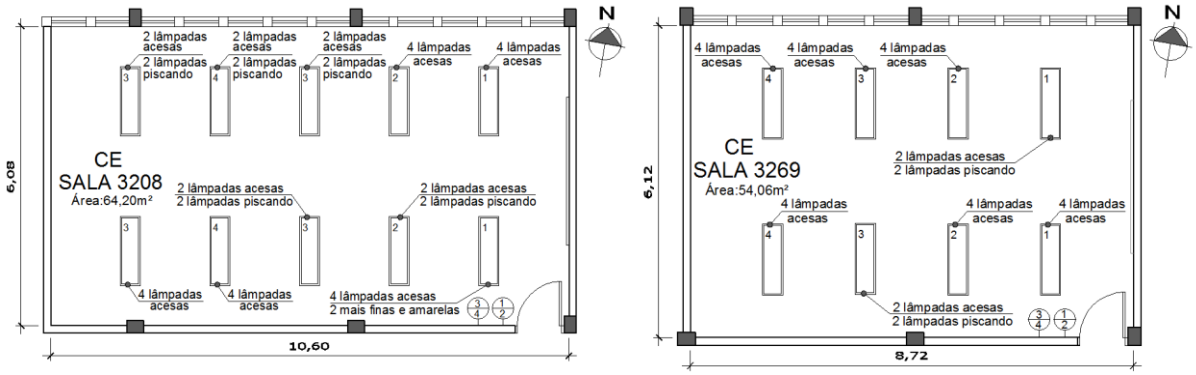


Figura 4.90 – Posição das luminárias e situação das lâmpadas nas salas 3208 e 3269 do CE
Fonte: adaptado de UFSM (2011)

A Figura 4.91 apresenta os gráficos com os resultados obtidos para a sala 3208 e 3269 quando medido apenas a iluminação natural.

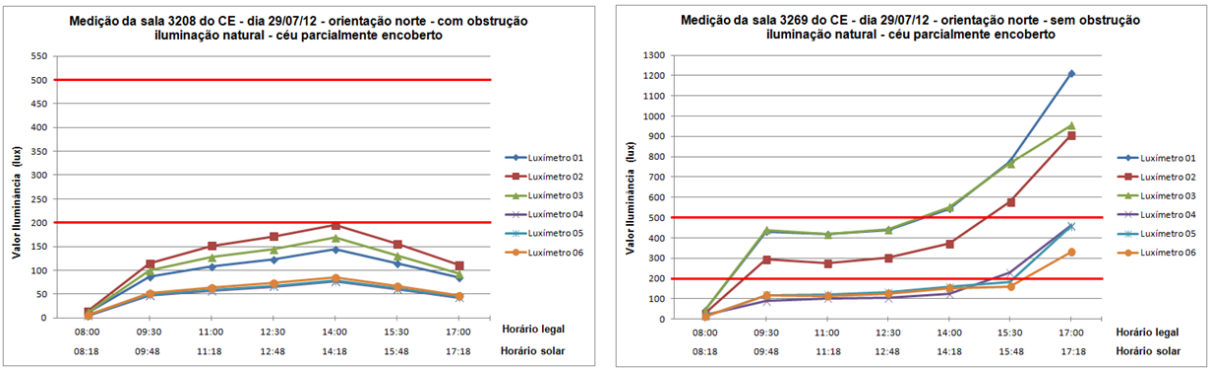


Figura 4.91 – Gráficos dos níveis de iluminância das salas de aula 3208 e 3269 do CE, quando medida apenas a iluminação natural

De acordo com o gráfico da Figura 4.91, quando medida apenas a iluminação natural, nas salas de aula 3208 e 3269, sob condição de céu parcialmente

encoberto, conforme esperado, os níveis de iluminância são maiores nos pontos mais próximos das aberturas dos que nos mais afastados.

Na sala 3208, a distribuição dos níveis é uniforme, e em todos os pontos eles são baixos, não alcançando o mínimo recomendado pela norma (200 lux), em nenhum momento do dia, mostrando que neste caso a iluminação artificial é necessária.

Na sala 3269, nos pontos mais afastados os níveis são menores do que recomenda a norma, sendo necessário o uso da iluminação artificial, na maior parte do dia, se encontrando de acordo com os valores médios mínimos recomendados pela norma (200 a 500 lux), apenas após aproximadamente 15:30h (horário legal). Nos pontos mais próximos, a iluminação artificial se faz necessária apenas no início da manhã, até por volta das 9:00h (horário legal) quando os níveis são baixos, menores do que a norma recomenda, após esse horário, eles crescem e se mantém na faixa dos 200 a 500 lux até aproximadamente 13:30h (horário legal) nos pontos 01 e 03 e cerca de 15:00h (horário legal) no ponto 02, quando se tornam superiores a 500 lux.

Com relação à medição com iluminação natural mais artificial, os resultados obtidos para as salas 3208 e 3269, apresentam-se nos gráficos da Figura 4.92.

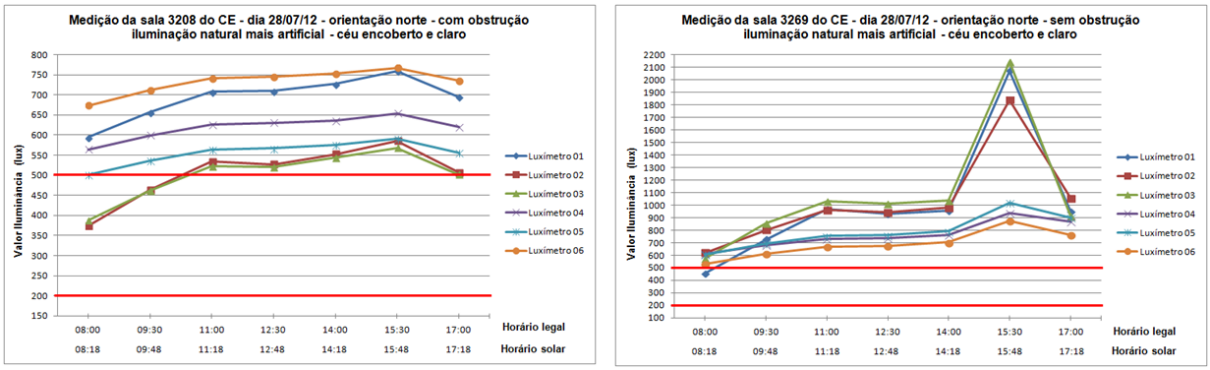


Figura 4.92 – Gráficos dos níveis de iluminância das salas de aula 3208 e 3269 do CE, quando medida a iluminação natural mais artificial

Segundo o gráfico da Figura 4.92, na sala 3208, devido às más condições do sistema de iluminação artificial (lâmpadas queimadas e piscando em algumas luminárias), os níveis de iluminância não são maiores nos pontos mais próximos das

aberturas do que nos mais afastados. Nos pontos 02 e 03 os níveis se encontram de acordo com os valores médios mínimos recomendados (200 a 500 lux), desde o início da manhã até aproximadamente 10:30h (horário legal), no restante do tempo os níveis são superiores ao mínimo recomendado para condições críticas (500 lux), além disso nos outros quatro pontos, os níveis também são maiores de 500 lux, porém durante todo dia.

Na sala 3269, em todos os pontos os níveis são superiores ao mínimo recomendado pela norma para condições críticas (500 lux) durante todo dia, sendo ainda maiores, em função da alteração da condição de céu, nos horários compreendidos entre aproximadamente 14:00h e 17:00h (horário legal).

Ao comparar o comportamento das duas salas de aula, ambas com as aberturas voltadas a norte, verificou-se que a sala 3208, que possui obstrução solar externa, alcançou menores níveis de iluminância do que a sala 3269, que não possui obstrução. Neste caso, os resultados apontam, que a adoção de um padrão único de abertura para mesma orientação solar, utilizando-se a mesma proteção solar, sem considerar o entorno, pode levar a um mal dimensionamento das mesmas, criando, por exemplo, para sala 3208, aberturas, com proteções solares, que quando o céu está nublado, não conseguem proporcionar ao ambiente níveis adequados de iluminação natural em todos os pontos, obrigando ao acionamento da iluminação artificial e para a sala 3269, aberturas com proteções solares que nos pontos mais próximos delas alcançam níveis adequados e até superiores ao mínimo recomendado para condições críticas.

4.5 Aplicação do RTQ-C

Aplicando-se o procedimento de determinação da eficiência energética dos sistemas de iluminação, pelo método da área do edifício, conforme recomendações do RTQ-C, colocadas no item 2.7.3.1, obteve-se os resultados apresentados na Tabela 4.21.

Tabela 4.21– Cálculo da potência limite para as salas selecionadas, pelo método da área do edifício

Sala de aula		Potência total (W)	Área da sala (m²)	Potência limite Nível A (W)	Potência limite Nível B (W)	Potência limite Nível C (W)	Potência limite Nível D (W)	Nível de eficiência	EqNumDPI
Anexo A do CT	**251**	**560**	75,99	**813,09**	934,68	1056,26	1177,85	**A**	5
	252	**560**	75,99	**813,09**	934,68	1056,26	1177,85	**A**	5
CCSH	**2264**	**840**	94,04	**1006,23**	1156,69	1307,16	1457,62	**A**	5
	2265	**840**	94,04	**1006,23**	1156,69	1307,16	1457,62	**A**	5
CE	**3208**	**1900**	64,45	689,62	792,74	895,86	**998,98**	**E**	1
	3209	**1900**	64,87	694,11	797,90	901,69	**1005,49**	**E**	1
	3269	**1520**	53,37	571,06	656,45	741,84	**827,24**	**E**	1
	3270	**1520**	52,32	559,82	643,54	727,25	**810,96**	**E**	1

De acordo com os resultados dos cálculos, colocados na Tabela 4.21, as salas do CCSH e do anexo A do CT, alcançaram o nível A de eficiência, já as salas do CE obtiveram nível E.

Com relação aos pré-requisitos específicos de iluminação, conforme foi colocado no item 3.7, foram avaliadas apenas as salas que alcançaram níveis de A até C, ou seja, as salas do anexo A do CT e as do CCSH, a fim de verificar se elas manteriam a mesma classificação. Como elas atendem apenas ao item da divisão de circuitos, que define que cada ambiente deve possuir um controle manual para acionamento independe da iluminação artificial, em local de fácil acesso, nenhuma das salas possui circuito de acionamento independente nas luminárias próximas às aberturas e nenhum dispositivo que desligue automaticamente a iluminação artificial, quando o ambiente não está sendo ocupado, não atendendo, portanto, aos itens da contribuição da luz natural e do desligamento automático do sistema de iluminação, seus níveis foram alterados para C.

Juntando-se os resultados obtidos com os cálculos pelo método da área do edifício com os obtidos através da avaliação dos pré-requisitos específicos, obteve-se, assim como Klüsener (2009), que concluiu que o edifício do CT enquadrava-se em um nível E para os sistemas de iluminação, baixos níveis de eficiência, nos ambientes estudados, enquadrando as salas no anexo A do CT e do CCSH no nível C e as salas do CE no nível E.

Comparando-se os resultados baseados no RTQ-C, que enquadram quatro das oito salas selecionadas como nível C e quatro como nível E para os sistemas de iluminação, com os resultados obtidos nas medições, o que se observa, é que, como o RTQ-C não considera o aproveitamento da luz natural, para os cálculos de eficiência, ambientes que não precisam fazer uso da iluminação artificial durante o dia, podem receber classificação mais baixa do que ambientes em que a iluminação artificial se faz indispensável, como ocorre com as salas 3209 e 3270 do CE, que não necessitam de iluminação artificial durante o dia, e se enquadram no nível E de eficiência e as salas 251 e 252 do anexo A do CT, que necessitam da iluminação artificial o dia todo e se enquadram no nível C.

Ou seja, se for considerado o tempo de utilização da iluminação artificial nos cálculos do consumo de energia elétrica dos sistemas de iluminação, ambientes que de acordo com o RTQ-C se classificam como nível C de eficiência energética, podem acabar consumindo mais energia elétrica, do que ambientes classificados como nível E.

5 CONCLUSÕES

5.1 Quanto à disponibilidade de iluminação natural, natural mais artificial e distribuição dos níveis de iluminância

As análises das medições realizadas no presente trabalho permitem concluir que a distribuição dos níveis de iluminância nas salas de aula medidas, quando iluminadas apenas naturalmente, variam de acordo com as condições de céu, a orientação solar, a presença ou não de obstrução externa e de proteção solar, porém, com exceção da sala 251 e da 252 do anexo A do CT, onde a película fumê sobre vidros interfere na disponibilidade e na distribuição da iluminação natural, os níveis de iluminação natural interna, para os dias medidos, são maiores nos pontos mais próximos das aberturas do que nos mais afastados, resultado esperado.

Nas salas 251 e 252 do anexo A do CT a iluminação natural para os dois dias medidos apresentam insuficiência, levando ao uso obrigatório de iluminação artificial em boa parte do dia, independente do ponto medido (afastamento da janela) devido ao uso de películas fumê. O uso de película fumê sobre os vidros prejudica, por falta, a iluminação da sala 252, voltada a sul e não contribui para o controle dos altos níveis de iluminância, durante a tarde nos pontos mais próximos das aberturas, da sala 251, voltada a norte.

No CCSH, para os três dias medidos, os níveis de iluminância, quando avaliada apenas a iluminação natural da sala 2265 (voltada a norte), com exceção do início da manhã, são superiores ou se encontram de acordo com as médias mínimas recomendadas pela NBR 5413 ao longo do dia, não havendo a necessidade do uso da iluminação artificial. Na sala 2264 (voltada a sul), para os dias em que foi medida apenas a iluminação natural, os níveis de iluminância são insuficientes provocando o acionamento da iluminação artificial em boa parte do dia nos pontos mais afastados das aberturas. Nos pontos mais próximos os níveis se apresentam de acordo com as médias mínimas recomendadas, nas medições sob condição de céu claro e são superiores a esses valores na medição sob condição de céu parcialmente encoberto.

Na sala 3208 do CE (voltada a norte), os níveis de iluminância dos dias em que foi medida apenas a iluminação natural, sob condição de céu claro, se apresentam de acordo com os valores médios mínimos recomendados pela norma nos pontos mais próximos das aberturas e alternam entre insuficientes e, de acordo com a NBR 5413, nos mais afastados, sendo necessário o uso da iluminação artificial em alguns períodos do dia. Sob condição de céu encoberto e parcialmente encoberto, os níveis em todos os pontos são inferiores a 200 lux, levando ao uso obrigatório de iluminação artificial durante todo dia, independente do ponto medido (afastamento da janela).

Na sala 3209 do CE (voltada a sul), a iluminação natural, nos dias medidos, é superior ao mínimo recomendado pela NBR 5413 para condições críticas, nos pontos mais próximos das aberturas e se apresenta de acordo com os valores médios mínimos recomendados nos pontos mais afastados.

Na sala 3269 do CE (voltada a norte) os níveis de iluminância dos dias em que foi medida apenas a iluminação natural, sob condição de céu encoberto e parcialmente encoberto, devido boa parte ao uso equivocado da proteção solar externa, são insuficientes nos pontos mais afastados das aberturas, sendo necessário o uso da iluminação artificial em grande parte do dia e se encontram de acordo com os valores médios mínimos recomendados até aproximadamente o início da tarde, quando se tornam superior ao mínimo recomendado para condições críticas nos pontos mais próximos. Sob condição de céu claro, o comportamento dos níveis de iluminância é semelhante ao da sala 3209, de acordo com o que recomenda a NBR 5413 nos pontos mais afastados das aberturas e superior a 500 lux nos mais próximos.

Na sala 3270 (voltada a sul) os níveis de iluminância dos dias em que foi realizada apenas a medição da iluminação natural, sob condição de céu claro, devido à ausência de um elemento de proteção solar adequado, são superiores ao mínimo recomendado para condições críticas em todos os pontos. Sob condição de céu nublado, são insuficientes, necessitando do uso da iluminação artificial, nos pontos mais afastados das aberturas e se alternam entre superior e de acordo com as médias mínimas recomendadas pela NBR 5413, nos pontos mais próximos.

Os níveis de iluminância dos dias em que foram realizadas as medições com iluminação natural mais artificial, com exceção das salas de aula do anexo A do CT onde as películas fumê sobre os vidros contribuem com a redução dos níveis, são

superiores a 500 lux (mínimo recomendado para condições críticas) durante todo dia em todos os pontos medidos, indicando que os sistemas de iluminação artificial destas salas de aulas estão superdimensionados para serem utilizados durante o dia (iluminação natural mais artificial).

Em todas as salas de aula avaliadas o sistema de iluminação artificial não contribui para uma melhor distribuição da iluminação, uma vez que os circuitos não podem ser acionados paralelamente à parede que contém as janelas, obrigando ao acionamento da iluminação artificial de todo ambiente mesmo quando ela só é necessária nos pontos mais afastados das aberturas, levando desta forma a altos níveis de iluminância, além do mínimo indicado pela norma para condições críticas, promovendo o desperdício de energia.

Nas salas de aula do CCSH e do anexo A do CT, a distribuição dos níveis de iluminância das medições com iluminação natural mais artificial, devido ao bom funcionamento do sistema de iluminação artificial (lâmpadas e luminárias funcionando corretamente) foi semelhante à distribuição das medições com iluminação natural apenas. Nas salas do CE, em função das lâmpadas queimadas e piscando, mesmo quando a distribuição dos níveis foi uniforme na medição com iluminação natural apenas, a distribuição se mostrou bastante diferente e não uniforme na medição com a iluminação artificial acionada.

5.2 Quanto às orientações solares norte e sul e à presença de obstrução externa

Os níveis de iluminância das salas de aula, para os dias medidos, são em grande parte maiores nas salas voltadas a norte do que nas voltadas a sul. Apenas nas medições das salas 3208 e 3270 do CE em que ambas apresentam obstrução externa, os resultados foram diferentes, neste caso, a obstrução externa, formada pela própria edificação, desfavorece os níveis de iluminância da sala voltada a norte, tornando-os menores do que os da sala voltada a sul.

Em todos os casos, o tratamento das aberturas parece não considerar o entorno (presença ou não de obstrução), gerando, para norte, aberturas mal dimensionadas que devido ao fato da presença da obstrução não ter sido

considerada, bloqueiam a passagem da luz natural, tornando menores os níveis de iluminância nas salas de aula onde existe obstrução externa. No caso das salas voltadas a sul, devido à reflexão, a presença da obstrução solar promove maiores níveis de iluminância do que as salas sem obstrução.

5.3 Verificação dos requisitos específicos do RTQ-C para o sistema de iluminação

As salas do CCSH e do anexo A do CT classificam-se como nível C de eficiência, enquanto que as salas do CE classificam-se como E.

Como o aproveitamento da iluminação natural nos ambientes não é considerada no procedimento de determinação da eficiência dos sistemas de iluminação do RTQ-C, ambientes que são classificados como nível C, como as salas do anexo A do CT, podem, durante o dia, consumir mais energia, em função do tempo de utilização do sistema de iluminação artificial do que ambientes classificados como nível E, como as salas do CE. Além disso, como o RTQ-C divide-se em três partes (envoltória, sistemas de iluminação e sistemas de condicionamento de ar) e cada uma delas pode ser analisada separadamente, as proteções solares, quando existem, são consideradas apenas na envoltória e não nos sistemas de iluminação, o que pode causar uma interpretação equivocada dos níveis de eficiência, já que se analisado pela classificação da envoltória, as proteções solares são benéficas, pois diminuem as cargas térmicas no interior da edificação, porém para os sistemas de iluminação as proteções solares podem levar a diminuição dos níveis de iluminância, sendo necessário em alguns casos o uso da iluminação artificial, aumentando o consumo energético.

5.4 Verificação dos coeficientes de CIN

Os coeficientes de CIN corresponderam aos níveis de iluminância encontrados na sala 251 do anexo A do CT em 99,07% dos pontos analisados e na

sala 252 em 100%. No CCSH, o mesmo ocorreu em 17,28% dos pontos analisados na sala 2265 e 41,97% na sala 2264.

No CE, os coeficientes de CIN corresponderam aos níveis de iluminância, em 64,81% dos pontos na sala 3208, na sala 3209 corresponderam em apenas 1,85%, na sala 3269 em 26,85% e na 3270 em 20,99%.

Os resultados apontam que não há uma regularidade na correspondência dos coeficientes de CIN com os níveis de iluminância, havendo uma grande diferença entre os resultados encontrados e os recomendados por normas internacionais, que indicam que os coeficientes de CIN devam estar num intervalo entre 2 a 5% para serem adequados. Em boa parte do tempo, os coeficientes de CIN foram inferiores a 2% enquanto os níveis de iluminância foram superiores ou estavam de acordo com os valores médios mínimos recomendados pela NBR 5413, indicando que talvez esse intervalo recomendado pelas normas internacionais não sirva adequadamente para Santa Maria, porém esses resultados precisam ser aprofundados, já que os níveis de iluminância externos utilizados para o cálculo dos CIN, em função da falta de aparelhos, não foram medidos no momento da medição interna, eles foram simulados com o auxílio do programa IlumiRad e RADIASOL2, que não consideram as condições de céu.

5.5 Diretrizes para melhoria das condições de iluminação natural e natural mais artificial das salas de aula na região sul do Brasil

A fim de melhorar as condições de iluminação natural e artificial das salas de aula, aumentando o conforto visual dos usuários e a eficiência energética dos sistemas de iluminação, sugerem-se algumas medidas que seguem listadas.

- Usar circuitos independentes para iluminação do quadro-negro (paralelo a este) e circuitos paralelos à parede que contém as aberturas e independentes entre si para captação de luz natural.
- Não usar películas nos vidros para controle de radiação solar direta ou indireta.

- Estudar condições do entorno imediato e verificar, para orientação norte, qual proteção solar é mais adequada.
- Definir potência instalada dos sistemas de iluminação artificial coerentes com o sistema de iluminação natural, orientação da sala, condições do entorno imediato e necessidade dos usuários em função da atividade realizada no ambiente.
- Incorporar ao projeto proteções solares na forma de prateleiras de luz e talvez não utilizar marquises como elemento de controle de radiação solar principalmente quando o entorno promove obstrução significativa do céu.
- Utilizar cortinas translúcidas e claras, manipuláveis pelo usuário, a fim de controlar a passagem da luz natural.
- Usar cortinas *blackout* como opção apenas para o escurecimento da sala para fins de projeção de imagens.
- Efetuar manutenção periódica de lâmpadas substituindo queimadas ou com feixe de luz intermitente.

5.6 Sugestões para trabalhos futuros

A seguir, são indicadas sugestões de continuidade da pesquisa.

- Analisar as salas de aula em termos absolutos através do monitoramento simultâneo de níveis de iluminância interiores e exteriores.
- Efetuar medições de níveis de iluminância para céu encoberto, complementando as análises efetuadas.
- Analisar a disponibilidade de iluminação natural e iluminação natural mais artificial para salas de aula com captação de iluminação natural complementar (janelas altas na parede oposta às aberturas principais).
- Analisar a disponibilidade de iluminação natural e iluminação natural mais artificial para salas de aula em outras latitudes.
- Definir padrões para CIN compatíveis com condições de céu típicas do Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, V. M. de; BARTHOLOMEI, C. L. B. Avaliação do conforto lumínico em escolas públicas de presidente prudente – SP. In: XIV ENTAC, 2012, Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora: [s.n.], 2012. p.945-949.

AMORIM, C. N. D. **Iluminação Natural e Eficiência Energética – Parte I. Estratégias de Projeto para uma Arquitetura Sustentável.** Brasília, Nov. 2002a. Disponível em: http://www.rodrigomindlinloeb.arq.br/eficiencia_energetica.pdf. Acesso em: 12 set. 2012.

AMORIM, C. N. D. et al. Avaliação do módulo educacional edifício fiocruz - Brasília uso da luz natural e eficiência energética. In: XI ENCAC - VII ELACAC, 2011, Búzios. **Anais...** Búzios: [s.n.], 2011.

ANDRADE, M. S. S. de. **Avaliação dos métodos de cálculo de iluminação natural através de aberturas zenitais.** 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) - **NBR 15215-1.** Iluminação natural - Parte 1: Conceitos básicos e definições. Rio de Janeiro, 2005 a.

_____. **NBR 15215-2.** luminação natural - Parte 2: Procedimentos de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural. Rio de Janeiro, 2005 b.

_____. **NBR 15215-3.** Iluminação natural - Parte 3: Procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos. Rio de Janeiro, 2005 c.

_____. **NBR 15215-4.** Iluminação natural - Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações - Método de medição. Rio de Janeiro, 2005 d.

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

BRASIL. **Manual para aplicação do RTQ-C e RAC-C**. Rio de Janeiro: ELETROBRÁS; PROCEL, 2012. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/eletrobras/etiquetagem/downloads.php>. Acesso em: 15 dez. 2012.

_____. **Portaria 372, de 17 de setembro de 2010**. Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). Rio de Janeiro, 2010.

_____. **Portaria 395, de 11 de outubro de 2010**. Regulamento de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RAC-C). Rio de Janeiro, 2010.

BAMBERG, A. L.; XAVIER, A. A. de P.; SOARES, A. L. Metodologia para determinação de iluminâncias e percepções de iluminação em salas de aula. In: XIV SICITE, 2009, Ponta Grossa. **Anais...** Ponta Grossa: [s.n.], 2009.

BITTENCOURT, L. **Uso das cartas solares:** diretrizes para arquitetos. 4. ed. Maceió: EDUFAL, 2004.

CABÚS, R. C. **Análise do desempenho luminoso de sistemas de iluminação zenital em função da distribuição de iluminâncias.** 1997. 156 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

_____. **Tropical daylighting:** predicting sky types and interior illuminance in north-east Brazil. 2002. Tese (Doctor of Philosophy) - Shool of Architectural Studies, 2002.

CARLO, J. C.; LAMBERTS, R. Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios – parte 1: método prescritivo. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 7-26, abr./jun. 2010.

CASTANHEIRA, R. G.; PIRES, J. L.. Ferramenta computacional para a estimativa da iluminância natural em superfícies planas genéricas. In: ENCAC - ELACAC, 2005, Maceió. **Anais...** Maceió: [s.n.], 2005. p.397-405

CORREIA, A. G. U. **Avaliação pós-ocupação da iluminação natural das salas dos setores de aulas teóricas da universidade federal do Rio Grande do Norte.** 2008. 173 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)-Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

COSTA, G. J. C. da. **Iluminação econômica:** cálculo e avaliação. 4. ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2006.

DIDONÉ, E. L. **A influência da luz natural na avaliação da eficiência energética de edifícios contemporâneos de escritórios em Florianópolils/SC.** 2009. 174 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)-Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

ELETROBRÁS. **Relatório de Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil:** Sumário Executivo. Rio de Janeiro: ELETROBRÁS; PROCEL, 2009. 187 p.

FANTINATO, D. G.; FELICIO, G. F. C.; MAGRO, G. G. M. **Análise do aproveitamento da iluminação natural em salas de aula da Unicamp.** Revista Ciências do Ambiente On-Line, volume 4, número 2. 2008.

GARROCHO, J. S. **Luz natural e projeto de arquitetura:** Estratégias para Iluminação zenital em centros de compras. 2005. 117 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)-Universidade de Brasília, Brasília, 2005.

GHISI, E. **Desenvolvimento de uma metodologia para retrofit em sistemas de iluminação:** estudo de caso na Universidade Federal de Santa Catarina. 1997. 246 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

GHISI, E.; LAMBERTS, R. **Avaliação das condições de iluminação natural nas salas de aula da Universidade Federal de Santa Catarina.** In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 1., 1997, Canela. **Anais...** Canela: ANTAC, 1997. (artigo técnico). Disponível em <http://www.infohab.org.br>. Acesso em: 20 set. 2011.

INSTRUTHERM INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO LTDA**. Manual de instruções:** luxímetro digital modelo LDR 225. São Paulo: [s.n.]., 2009. 20 p.

KLÜSENER, C. S. **Aplicação do regulamento para etiquetagem do nível de eficiência energética de edifícios:** o caso do Centro de Tecnologia da UFSM. 2009. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

KREMER, A. **A influência de elementos de obstrução solar no nível e na distribuição interna de iluminação natural:** estudo de caso em protótipo escolar de Florianópolis. 2002. 194 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

KRENZINGER, A.; BUGS, R. C. Radiasol 2 software para sintetizar dados de radiação solar. In: IV ISES CLA - XVII SPES, 2010, Cuzco. **Anais...** Cuzco: [s.n.], 2010.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência energética na arquitetura.** São Paulo: PW, 1997. 192 p.
LAMBERTS, R.; GOULART, S.; CARLO, J.; WESTPHAL, F.; PONTES, R. A. Regulamentação de etiquetagem voluntária de nível de eficiência energética de edifícios comerciais e públicos. In: 9. 5. Encontro Nacional e Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. Ouro Preto. 2007. **Anais...** Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. P. 1019-1028.

LEAL, Sergio da S and TIBA, Chigueru. Iluminância e irradiação solar global na região Nordeste do Brasil.. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 6., 2006, Campinas. **Proceedings online...** Available from: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022006000200003 &lng=en&nrm=abn>. Acess on: 11 Feb. 2013.

LIMA, E. de F. C.; LEDER, S. M. Iluminação natural: estudo de caso através de simulação natural e medição in loco. In: XIV ENTAC, 2012, Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora: [s.n.], 2012. p.1580-1584.

LOUÇANO, N. R. **Eficiência energética em edifícios:** Gestão do sistema iluminação. 2009. Relatório de estágio (Mestrado em Engenharia Industrial)-Instituto politécnico de Bragança, Bragança, 2009.

MARDALJEVIC, J. **Daylighting and compliance:** Are current standards sufficient? Institute of Energy and Sustainable Development. De Montfort University. Leicester, UK. 2012

MASCARÓ, L. E. R. Iluminação natural nos edifícios. Porto Alegre. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. **Apostila** da Disciplina de Habitabilidade nas Edificações. 1980.

MASCARÓ, L. E. R. **Energia na edificação**: estratégia para minimizar seu consumo. São Paulo: Projeto, 1991.

NETO, E. P. **Cor e iluminação nos ambientes de trabalho.** São Paulo: Liv. Ciência e Tecnologia, 1980. 131 p.

NOGUCHI, M. Y. **Análise das condições de iluminação em edificação de escritórios:** um estudo de caso no paço municipal de Maringá – PR. 2003. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

OSRAM. **Iluminação:** Conceitos e Projetos – Parte 01. Manual do Curso de Iluminação: Conceitos e Projetos. Disponível em: <http://www.osram.com.br>. Acesso em: 08 out. 2011.

PEREIRA, F. O. R. **Conforto ambiental:** Iluminação. Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: <http://www.labcon.ufsc.br/anexosg/233.ppt>. Acesso em: 28 out. 2011.

PEREIRA, F. O. R.; SOUZA, M. B. de. **Iluminação.** Florianópolis. Curso de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo e em Construção Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Apostila de Conforto Ambiental. 2005.

PHILIPS. **Catálogo de produtos.** Disponível em: <http://www.ecat.lighting.philips.com.br/l/lampadas/41334/cat/> Acesso em: 05 fev. 2013.

POGERE, A. **Estudo de átrios como elementos condutores de iluminação natural.** 2001. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

PROCEL. **Manual de Iluminação Eficiente.** Rio de Janeiro: ELETROBRÁS; PROCEL, 2002. Disponível em: <http://www. disciplinas.stoa.usp.br/mod/resource/view.php?id=12722>. Acesso em: 18 jun. 2012.

RAITELLI, M. **Diseño de iluminación de interiores.** 3. ed. 2007.

SOUZA, A. P. A. de. **Uso da energia em edifícios:** estudo de caso de escolas municipais e estaduais de Itabira, Minas Gerais. 2005. 191 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia)-Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

SZOKOLAY, S. V. **Environmental Science Handbook. Lancaster:** The Construction Press, 1980.

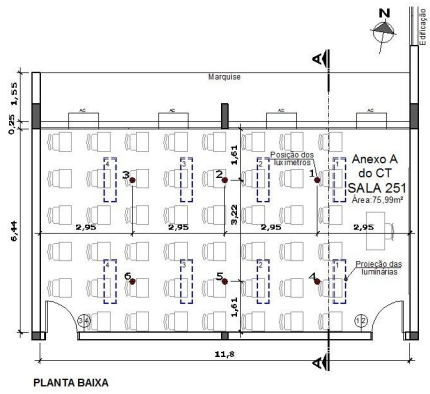
TOLEDO, B. G. **Integração de iluminação natural e artificial:** métodos e guia prático para projeto luminotécnico. 2008. 171 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)-Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

UFSM. Pró-Reitoria de Infraestrutura. Plantas baixas, cortes e fachadas. Santa Maria: UFSM, ano 2011. Acervo digital de levantamentos como construído em AutoCad 2007.

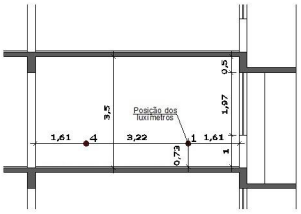
APÊNDICES

Apêndice A- Ficha de levantamento da sala 251 do anexo A do CT

LEVANTAMENTO SALAS DE AULA			
DADOS GERAIS			
CENTRO:	**Anexo A do CT**	SALA DE AULA:	**251**
DATA:	08/08/2011	HORÁRIO	21h15min
ORIENTAÇÃO:	Norte	OBSERVAÇÃO:	-
CARACTERÍSTICAS GERAIS			
DIMENSÕES:	11,8 x 6,44 x 3,33	TIPO PISO:	parquet
COR PISO:	Marrom	ÁREA PISO:	-
REVESTIMENTO PAREDES:	massa corrida	COR PAREDES:	azul claro
REVESTIMENTO TETO:	massa corrida	COR TETO:	azul claro
TIPO JANELA:	maximar	VIDRO:	incolor
PROTEÇÃO SOLAR			
TIPO/COR	Marquise de concreto	COR	azul claro
CORTINA			
TIPO:	persiana vertical	MATERIAL/COR	tecido azul claro
LUMINÁRIAS			
TIPO:	calha espelhada suspensa em trilhos	QUANTIDADE:	8
LÂMPADAS POR LUMINÁRIA:	2	ALETAS:	-
INTERRUPTOR:	paralelo ao quadro		
LÂMPADAS			
TIPO:	fluorescente tubular		
NÚMERO TOTAL LÂMPADAS:	16	POTÊNCIA:	32W
VOLTAGEM:	220 v	MARCA:	GE e OSRAM
MOBILIÁRIO			
Nº CLASSES:	47	Nº CADEIRAS:	47
MESA/CADEIRA PROFESSOR:	sim	ARMÁRIO:	não
PLANTA BAIXA / CORTE / FOTOGRAFIAS / OBSERVAÇÕES			



PLANTA BAIXA

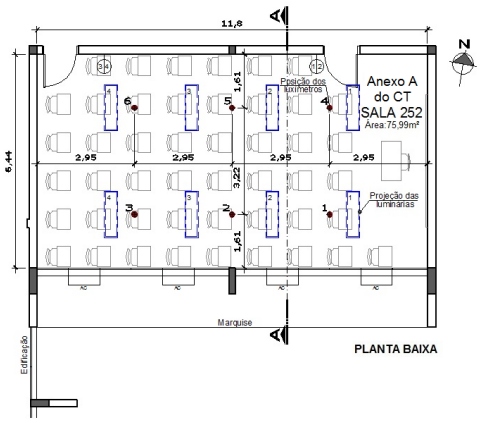


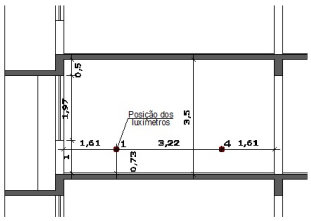
CORTE AA

* Obstrução solar próxima, edificação em frente às janelas.
* Vidro com película fumê.

Apêndice B- Ficha de levantamento da sala 252 do anexo A do CT

LEVANTAMENTO SALAS DE AULA			
DADOS GERAIS:			
CENTRO:	**Anexo A do CT**	SALA DE AULA:	**252**
DATA:	08/08/2011	HORÁRIO	20h45min
ORIENTAÇÃO:	Sul	OBSERVAÇÃO:	-
CARACTERÍSTICAS GERAIS			
DIMENSÕES:	11,80 x 6,44 x 3,5	TIPO PISO:	parquet
COR PISO:	Marrom	ÁREA PISO:	-
REVESTIMENTO PAREDES:	massa corrida	COR PAREDES:	azul claro
REVESTIMENTO TETO:	massa corrida	COR TETO:	azul claro
TIPO JANELA:	maximar	VIDRO:	incolor
PROTEÇÃO SOLAR			
TIPO/COR	Marquise de concreto	COR	azul claro
CORTINA			
TIPO:	persiana vertical	MATERIAL/COR	tecido azul claro
LUMINÁRIAS			
TIPO:	calha espelhada suspensa em trilhos	QUANTIDADE:	8
LÂMPADAS POR LUMINÁRIA:	2	ALETAS:	-
INTERRUPTOR:	paralelo ao quadro		
LÂMPADAS			
TIPO:	fluorescente tubular		
NÚMERO TOTAL LÂMPADAS:	16	POTÊNCIA:	32W
VOLTAGEM:	220 v	MARCA:	GE e OSRAM
MOBILIÁRIO			
Nº CLASSES:	49	Nº CADEIRAS:	49
MESA/CADEIRA PROFESSOR:	sim	ARMÁRIO:	não
PLANTA BAIXA / CORTE / FOTOGRAFIAS / OBSERVAÇÕES			

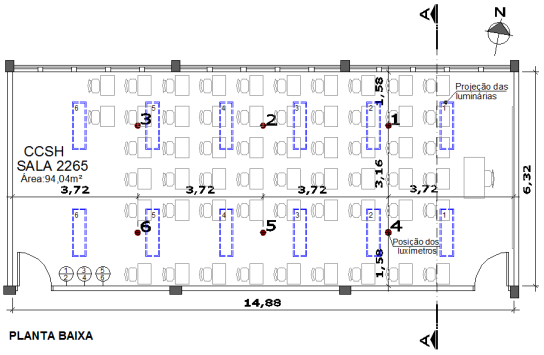


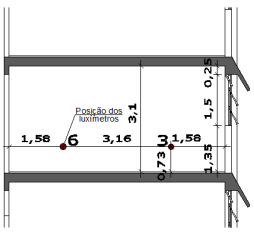


* Vidro com película fumê.

Apêndice C- Ficha de levantamento da sala 2265 do CCSH

LEVANTAMENTO SALAS DE AULA			
DADOS GERAIS			
CENTRO:	**CCSH**	SALA DE AULA:	**2265**
DATA:	10/09/2011	HORÁRIO	12h
ORIENTAÇÃO:	norte	OBSERVAÇÃO:	-
CARACTERÍSTICAS GERAIS			
DIMENSÕES:	14,88 x 6,32 x 3,10	TIPO PISO:	parquet
COR PISO:	marrom	ÁREA PISO:	-
REVESTIMENTO PAREDES:	tinta	COR PAREDES:	bege
REVESTIMENTO TETO:	pré-laje	COR TETO:	branco
TIPO JANELA:	maximar metálico	VIDRO:	incolor
PROTEÇÃO SOLAR			
TIPO/COR	de concreto (inclinado e pequeno)	COR	branco
CORTINA			
TIPO:	tecido	MATERIAL/COR	tecido / azul
LUMINÁRIAS			
TIPO:	calhas espelhadas suspensas em trilhos	QUANTIDADE:	12
LÂMPADAS POR LUMINÁRIA:	2	ALETAS:	-
INTERRUPTOR:	individual, paralelo ao quadro		
LÂMPADAS			
TIPO:	fluorescente		
NÚMERO TOTAL LÂMPADAS:	24	POTÊNCIA:	32W
VOLTAGEM:	220 v	MARCA:	JB
MOBILIÁRIO			
Nº CLASSES:	53	Nº CADEIRAS:	53
MESA/CADEIRA PROFESSOR:	sim	ARMÁRIO:	-
PLANTA BAIXA / CORTE / FOTOGRAFIAS / OBSERVAÇÕES			

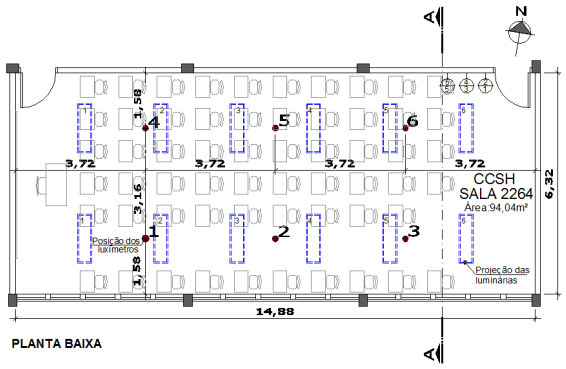




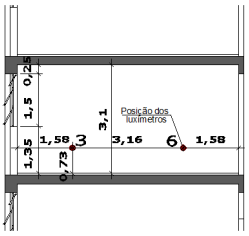
*Obstrução solar próxima, edificação em frente às janelas.

Apêndice D- Ficha de levantamento da sala 2264 do CCSH

LEVANTAMENTO SALAS DE AULA			
DADOS GERAIS			
CENTRO:	**CCSH**	SALA DE AULA:	**2264**
DATA:	10/09/2011	HORÁRIO	12h
ORIENTAÇÃO:	sul	OBSERVAÇÃO:	-
CARACTERÍSTICAS GERAIS			
DIMENSÕES:	14,88 x 6,32 x 3,10	TIPO PISO:	parquet
COR PISO:	marrom	ÁREA PISO:	-
REVESTIMENTO PAREDES:	tinta	COR PAREDES:	bege
REVESTIMENTO TETO:	pré-laje	COR TETO:	branco
TIPO JANELA:	basculante metálica	VIDRO:	incolor
PROTEÇÃO SOLAR			
TIPO/COR	-------	COR	------
CORTINA			
TIPO:	tecido	MATERIAL/COR	tecido / azul
LUMINÁRIAS			
TIPO:	calhas espelhadas suspensa em trilho	QUANTIDADE:	12
LÂMPADAS POR LUMINÁRIA:	2	ALETAS:	-
INTERRUPTOR:	individual, paralelo ao quadro		
LÂMPADAS			
TIPO:	fluorescente		
NÚMERO TOTAL LÂMPADAS:	24	POTÊNCIA:	32W
VOLTAGEM:	220 v	MARCA:	JB
MOBILIÁRIO			
Nº CLASSES:	58	Nº CADEIRAS:	58
MESA/CADEIRA PROFESSOR:	Sim	ARMÁRIO:	-
PLANTA BAIXA / CORTE / FOTOGRAFIAS / OBSERVAÇÕES			



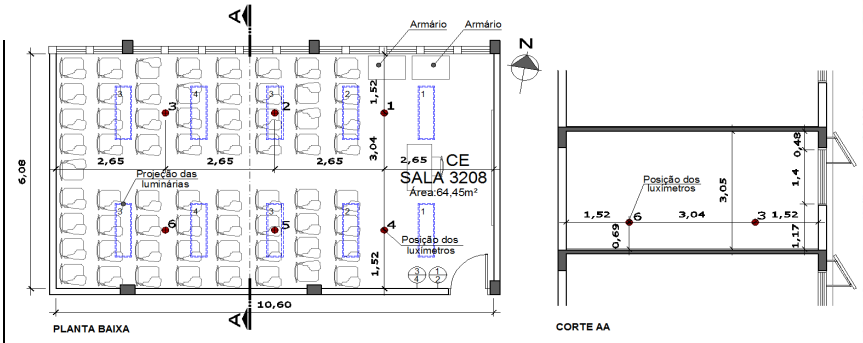
PLANTA BAIXA



CORTE AA

Apêndice E- Ficha de levantamento da sala 3208 do CE

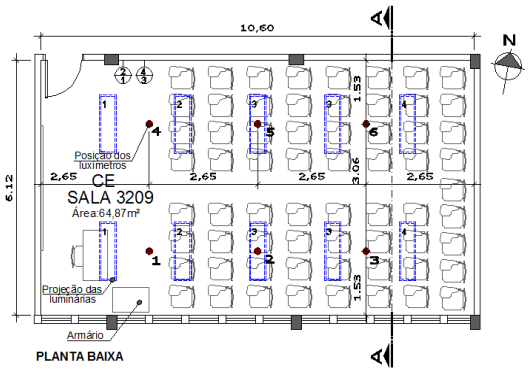
LEVANTAMENTO SALAS DE AULA			
DADOS GERAIS			
CENTRO:	**CE**	SALA DE AULA:	**3208**
DATA:	10/09/2011	HORÁRIO	10h
ORIENTAÇÃO:	norte	OBSERVAÇÃO:	-
CARACTERÍSTICAS GERAIS			
DIMENSÕES:	10,60 x 6,08 x 3,05	TIPO PISO:	vinílico
COR PISO:	salmão	ÁREA PISO:	-
REVESTIMENTO PAREDES:	tinta	COR PAREDES:	bege / marfim
REVESTIMENTO TETO:	pré-laje	COR TETO:	bege
TIPO JANELA:	basculante metálica	VIDRO:	incolor
PROTEÇÃO SOLAR			
TIPO/COR	fibrocimento / inclinada	COR	bege
CORTINA			
TIPO:	blackout	MATERIAL/COR	tecido / bege
LUMINÁRIAS			
TIPO:	suspensa	QUANTIDADE:	10
LÂMPADAS POR LUMINÁRIA:	4	ALETAS:	não
INTERRUPTOR:	individual, paralelo ao quadro		
LÂMPADAS			
TIPO:	fluorescente		
NÚMERO TOTAL LÂMPADAS:	40	POTÊNCIA:	40W
VOLTAGEM:	220 v	MARCA:	OSRAM / JB / SYLVANIA
MOBILIÁRIO			
Nº CLASSES:	-	Nº CADEIRAS:	65 (cadeiras com classe)
MESA/CADEIRA PROFESSOR:	sim	ARMÁRIO:	2
PLANTA BAIXA / CORTE / FOTOGRAFIAS / OBSERVAÇÕES			



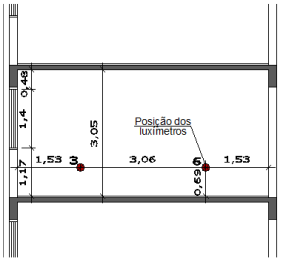
*Obstrução solar próxima, edificação em frente às janelas

Apêndice F- Ficha de levantamento da sala 3209 do CE

LEVANTAMENTO SALAS DE AULA			
DADOS GERAIS			
CENTRO:	**CE**	SALA DE AULA:	**3209**
DATA:	10/09/2011	HORÁRIO	10h
ORIENTAÇÃO:	sul	OBSERVAÇÃO:	-
CARACTERÍSTICAS GERAIS			
DIMENSÕES:	10,60 x 6,12 x 3,05	TIPO PISO:	vinílico
COR PISO:	salmão	ÁREA PISO:	-
REVESTIMENTO PAREDES:	tinta	COR PAREDES:	bege / marfim
REVESTIMENTO TETO:	pré-laje	COR TETO:	bege
TIPO JANELA:	basculantes metálica	VIDRO:	incolor
PROTEÇÃO SOLAR			
TIPO/COR	-	COR	-
CORTINA			
TIPO:	blackout	MATERIAL/COR	tecido / bege
LUMINÁRIAS			
TIPO:	pendente	QUANTIDADE:	10
LÂMPADAS POR LUMINÁRIA:	4	ALETAS:	-
INTERRUPTOR:	paralelo ao quadro em blocos		
LÂMPADAS			
TIPO:	fluorescente		
NÚMERO TOTAL LÂMPADAS:	40	POTÊNCIA:	40W
VOLTAGEM:	220 v	MARCA:	GRANLIGHT / SYLVANIA / JB
MOBILIÁRIO			
Nº CLASSES:	-	Nº CADEIRAS:	65 (cadeiras com classe)
MESA/CADEIRA PROFESSOR:	sim	ARMÁRIO:	1
PLANTA BAIXA/CORTE/FOTOGRAFIAS/OBSERVAÇÕES			



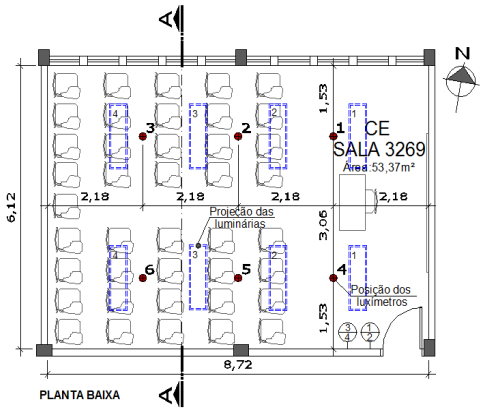
PLANTA BAIXA



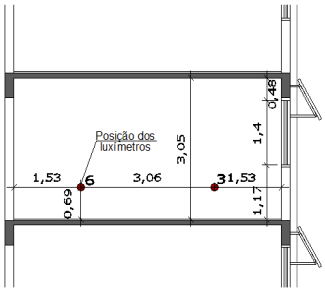
CORTE AA

Apêndice G- Ficha de levantamento da sala 3269 do CE

LEVANTAMENTO SALAS DE AULA			
DADOS GERAIS			
CENTRO:	**CE**	SALA DE AULA:	**3269**
DATA:	10/09/2011	HORÁRIO	10h
ORIENTAÇÃO:	norte	OBSERVAÇÃO:	-
CARACTERÍSTICAS GERAIS			
DIMENSÕES:	8,72 x 6,12 x 3,05	TIPO PISO:	vinílico
COR PISO:	salmão	ÁREA PISO:	-
REVESTIMENTO PAREDES:	tinta	COR PAREDES:	bege/marfim
REVESTIMENTO TETO:	pré-laje	COR TETO:	bege
TIPO JANELA:	basculantes metálica	VIDRO:	incolor
PROTEÇÃO SOLAR			
TIPO/COR	fibrocimento / inclinada	COR	-
CORTINA			
TIPO:	blackout	MATERIAL/COR	tecido / cinza
LUMINÁRIAS			
TIPO:	pendente	QUANTIDADE:	8
LÂMPADAS POR LUMINÁRIA:	4	ALETAS:	-
INTERRUPTOR:	individual, paralelo ao quadro		
LÂMPADAS			
TIPO:	fluorescente		
NÚMERO TOTAL LÂMPADAS:	32	POTÊNCIA:	40W
VOLTAGEM:	220 v	MARCA:	SYLVANIA / JB
MOBILIÁRIO			
Nº CLASSES:	-	Nº CADEIRAS:	41 (cadeiras com classe)
MESA/CADEIRA PROFESSOR:	sim	ARMÁRIO:	-
PLANTA BAIXA / CORTE / FOTOGRAFIAS / OBSERVAÇÕES			



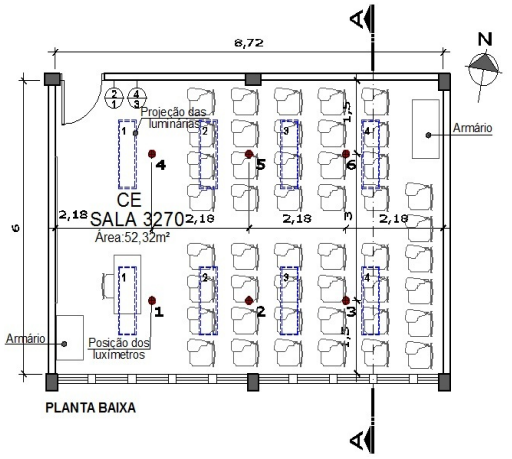
PLANTA BAIXA

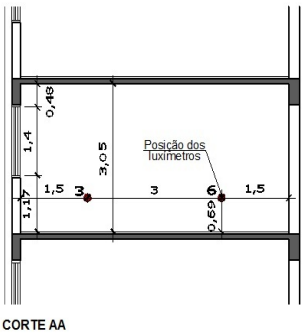


CORTE AA

Apêndice H- Ficha de levantamento da sala 3270 do CE

LEVANTAMENTO SALAS DE AULA			
DADOS GERAIS:			
CENTRO:	**CE**	SALA DE AULA:	**3270**
DATA:	10/09/2011	HORÁRIO	10h
ORIENTAÇÃO:	sul	OBSERVAÇÃO:	-
CARACTERÍSTICAS GERAIS			
DIMENSÕES:	8,72 x 6,00 x 3,05	TIPO PISO:	vinílico
COR PISO:	salmão	ÁREA PISO:	-
REVESTIMENTO PAREDES:	tinta	COR PAREDES:	bege/marfim
REVESTIMENTO TETO:	pré-laje	COR TETO:	bege
TIPO JANELA:	basculantes metálica	VIDRO:	incolor
PROTEÇÃO SOLAR:			
TIPO/COR	-	COR	-
CORTINA			
TIPO:	persiana	MATERIAL/COR	tecido / cinza
LUMINÁRIAS			
TIPO:	pendente	QUANTIDADE:	8
LÂMPADAS POR LUMINÁRIA:	4	ALETAS:	-
INTERRUPTOR:	individual, paralelo ao quadro		
LÂMPADAS			
TIPO:	fluorescente		
NÚMERO TOTAL LÂMPADAS:	32	POTÊNCIA:	40W
VOLTAGEM:	220 v	MARCA:	SYLVANIA / JB
MOBILIÁRIO			
Nº CLASSES:	-	Nº CADEIRAS:	46 (cadeiras com classe)
MESA/CADEIRA PROFESSOR:	sim	ARMÁRIO:	2
PLANTA BAIXA / CORTE / FOTOGRAFIAS / OBSERVAÇÕES			





*Obstrução solar próxima, edificação em frente às janelas.