

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA**

**CONDIÇÕES DE LUZ NATURAL EM AMBIENTES ESCOLARES – ESTUDO DO
PROJETO PADRÃO 023 DA REDE PÚBLICA DE ENSINO DO ESTADO DO PARANÁ**

ADRIANO LUCIO DORIGO

CURITIBA

2007

ADRIANO LUCIO DORIGO

**CONDIÇÕES DE LUZ NATURAL EM AMBIENTES ESCOLARES – ESTUDO DO
PROJETO PADRÃO 023 DA REDE PÚBLICA DE ENSINO DO ESTADO DO PARANÁ**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Leite Krüger

CURITIBA

2007

AGRADECIMENTOS

À minha esposa, Clarisse, pela presença constante, pelo apoio incondicional e pelo auxílio em todos os momentos, nesta jornada e em outras.

Aos meus pais, José e Roseli, pelo incentivo, pelo exemplo de vida e pelo modelo de conduta profissional e, acima de tudo, pessoal.

Ao meu irmão, Fabiano, pela amizade e pela alegria.

Aos meus parentes e amigos, pela paciência e companheirismo.

Ao amigo Mauro Suga, pelas conversas e explicações.

Ao Professor Dr. Eduardo Leite Krüger, pela oportunidade, pela confiança e pelas orientações, acadêmicas e pessoais.

Aos Professores do PPGTE, pelos ensinamentos.

À FUNDEPAR, pelas informações fornecidas.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
1.1	Justificativa	12
1.2	Objetivo	15
2	ARQUITETURA E CLIMA	17
2.1	O uso da luz natural.....	18
2.2	Abordagem histórica do Conforto Ambiental	19
2.2.1	O conforto ambiental no Brasil	21
2.2.2	Organismos e normatização sobre conforto ambiental	24
2.2.3	HERS e Retrofits	26
3	ARQUITETURA E EDUCAÇÃO.....	28
3.1	Educação e tecnologia	28
3.2	As construções escolares	29
3.3	Arquitetura escolar e iluminação.....	31
3.4	Conceitos e variáveis envolvidas.....	35
3.4.1	Cartas solares	38
4	METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS.....	41
4.1	Características do objeto de estudo	43
4.2	Características da região de estudo	46
4.3	Ferramentas e métodos.....	50
4.3.1	Ecotect.....	51
4.3.2	Radiance.....	53
4.3.3	Analysis Sol-Ar	56
4.3.4	Luz do Sol... ..	57
4.3.5	Método proposto por Olgyay e Olgyay	58
4.4	Definições e desenvolvimento	61
4.5	Procedimentos de análise	65
4.6	Determinação de dispositivos de sombra	70
4.6.1	TRY.....	71
4.6.2	Temperatura de conforto calculada pelo método do Conforto Adaptativo...71	
5	RESULTADOS OBTIDOS.....	73
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	106

REFERÊNCIAS.....	110
APÊNDICE A – Fotos da escola visitada.....	115
APÊNDICE B – Imagens geradas pelo software Radiance	117
ANEXO A – Planta da escola visitada.....	122

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – SEAGRAM BUILDING, DE MIES VAN DE ROHE, 1958.....	21
FIGURA 2 - PAVILHÃO DO BRASIL - FEIRA MUNDIAL DE NOVA YORK, 1938....	23
FIGURA 3 – DIAGRAMA SOLAR PARA A CIDADE DE CURITIBA	39
FIGURA 4 – ÂNGULOS PARA DIMENSIONAMENTO DAS PROTEÇÕES	40
FIGURA 5 – FLUXOGRAMA DA PESQUISA.....	42
FIGURA 6 – DETALHE DO CORREDOR CENTRAL	43
FIGURA 7 – VARIAÇÕES DOS LAYOUTS DAS SALAS DE AULA	44
FIGURA 8 – DETALHE DAS JANELAS DAS SALAS DE AULA	45
FIGURA 9 – PLANTA BAIXA DO MÓDULO DE SALAS DE AULA.....	46
FIGURA 10 – CORTE TRANSVERSAL DO MÓDULO DE SALAS DE AULA	46
FIGURA 10 – CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DO ESTADO DO PARANÁ.....	47
FIGURA 11 – MAPA DO PARANÁ COM A DISTRIBUIÇÃO DAS ESCOLAS CONSTRUÍDAS COM O PROJETO PADRÃO 023	49
FIGURA 13 – SIMULAÇÕES DO SOFTWARE ECOTECT PARA O MÓDULO DE SALAS DE AULA, EM DIFERENTES DATAS E HORÁRIOS	52
FIGURA 14 – À ESQUERDA, SIMULAÇÃO DO SOFTWARE RADIANCE DAS ILUMINÂNCIAS E À DIREITA DAS LUMINÂNCIAS DA SALA DE AULA, REPRODUZINDO A SENSIBILIDADE DA VISÃO HUMANA	54
FIGURA 15 – À ESQUERDA, SIMULAÇÃO DAS LUMINÂNCIAS ENCONTRADAS NO CORREDOR E À DIREITA UMA REPRODUÇÃO DA VISÃO HUMANA DO MESMO ESPAÇO.....	55
FIGURA 16 – À ESQUERDA, SIMULAÇÃO DAS ILUMINÂNCIAS PARA A MESMA SITUAÇÃO E À DIREITA A REPRESENTAÇÃO DAS CURVAS ISOLUX PRODUZIDAS.....	55
FIGURA 17 – CARTA SOLAR GERADA PELO SOFTWARE ANALYSIS SOL-AR ..	57
FIGURA 18 – ENTRADA DE DADOS – SOFTWARE LUZ DO SOL.....	58
FIGURA 19 – IMAGEM DA SALA DE AULA COM AS CURVAS ISOLUX SOBRE OS PLANOS DE TRABALHO	69
FIGURA 20 – ORIENTAÇÕES ANALISADAS DAS CONSTRUÇÕES	73
FIGURA 21 – GRÁFICO DE PORCENTAGEM DE CARTEIRAS POR ORIENTAÇÃO SOLAR COMBINADA	80
FIGURA 22 – PERÍODO DO ANO COM FAIXA DE TEMPERATURAS ELEVADAS PARA CURITIBA, PLOTADO SOBRE DIAGRAMA SOLAR.....	82
FIGURA 23 – MÁSCARA DE SOMBRAS - MÉTODO DE OLGAY E OLGAY.....	83
FIGURA 24 – NOVA MÁSCARA DE SOMBRAS EIXO NW-SE- MÉTODO DE OLGYAY E OLGAY	84
FIGURA 25 – CORTE – BEIRAL E JANELA PARA NORDESTE	85
FIGURA 26 – CORTE –BRISES HORIZONTAIS EM JANELA PARA SUDOESTE..	85
FIGURA 27 – SOFTWARE LUZ DO SOL – SIMULAÇÃO DE INCIDÊNCIA SOLAR	86
FIGURA 28 –MÁSCARA DE SOMBRAS EIXO N-S - MÉTODO DE OLGAY E OLGYAY	87
FIGURA 29 –MÁSCARA DE SOMBRAS EIXO E-W - MÉTODO DE OLGAY E OLGYAY	88
FIGURA 30 –MÁSCARA DE SOMBRAS EIXO NE-SW - MÉTODO DE OLGAY E OLGYAY	88

FIGURA 31 – GRÁFICO DE PORCENTAGEM DE CARTEIRAS POR ORIENTAÇÃO SOLAR COMBINADA, COM BRISES.....	94
FIGURA 32 – GRÁFICO DE PORCENTAGEM DE CARTEIRAS POR ORIENTAÇÃO SOLAR COMBINADA, COM BRISES E CÉU ENCOBERTO	99
FIGURA 33 – GRÁFICO DE RAZÃO DE EQUILÍBRIO ENTRE FACHADAS OPOSTAS.....	100
FIGURA 34 – GRÁFICO - QUANTIDADE DE CARTEIRAS POR ORIENTAÇÃO SOLAR COMBINADA – SITUAÇÃO PADRÃO - INVERNO.....	101
FIGURA 35 – GRÁFICO - QUANTIDADE DE CARTEIRAS POR ORIENTAÇÃO SOLAR COMBINADA – SITUAÇÃO COM BRISES - INVERNO	102
FIGURA 36 – GRÁFICO - QUANTIDADE DE CARTEIRAS POR ORIENTAÇÃO SOLAR COMBINADA – SITUAÇÃO PADRÃO - VERÃO	102
FIGURA 37 – GRÁFICO - QUANTIDADE DE CARTEIRAS POR ORIENTAÇÃO SOLAR COMBINADA – SITUAÇÃO COM BRISES - VERÃO	103
FIGURA 38 – DETALHE – FAIXAS DE TIJOLOS DE VIDRO NA SALA DE AULA	115
FIGURA 39 – DETALHE – QUADRO NEGRO DA SALA DE AULA	115
FIGURA 40 – DETALHE – VISTA EXTERNA DO MÓDULO DE SALAS DE AULA	116
FIGURA 41 – DETALHE – CORREDOR EXTERNO DE LIGAÇÃO ENTRE OS MÓDULOS	116
FIGURA 42 – SIMULAÇÃO DAS ILUMINÂNCIAS DA SALA DE AULA PARA CÉU CLARO, SEM BRISES – JANELAS NE, 12:00H, SOLSTÍCIO DE VERÃO	117
FIGURA 43 – SIMULAÇÃO DAS ILUMINÂNCIAS DA SALA DE AULA PARA CÉU CLARO, SEM BRISES – JANELAS SW, 12:00H, SOLSTÍCIO DE VERÃO	118
FIGURA 44 – SIMULAÇÃO DAS ILUMINÂNCIAS DA SALA DE AULA PARA CÉU CLARO, COM BRISES – JANELAS SW, 12:00H, SOLSTÍCIO DE VERÃO....	119
FIGURA 45 – SIMULAÇÃO DAS ILUMINÂNCIAS DA SALA DE AULA PARA CÉU ENCOBERTO, SEM BRISES – JANELAS NE, 12:00H, SOLSTÍCIO DE VERÃO	120
FIGURA 46 – SIMULAÇÃO DAS ILUMINÂNCIAS DA SALA DE AULA PARA CÉU ENCOBERTO, COM BRISES – JANELAS SW, 12:00H, SOLSTÍCIO DE VERÃO	121
FIGURA 47 – ESCOLA CONSTRUÍDA COM O PROJETO PADRÃO 023 NO MUNICÍPIO DE PINHAIS - PR.....	122

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – DISTRIBUIÇÃO DAS ESCOLAS CONSTRUÍDAS COM O PROJETO PADRÃO 023 NO ESTADO DO PARANÁ DESDE O ANO 2000	48
TABELA 2 – COEFICIENTES DE REFLETÂNCIAS DE MATERIAIS	68
TABELA 3 – TEMPERATURAS MÉDIAS PARA CURITIBA (TRY).....	71
TABELA 4 – TEMPERATURAS LIMITE DE CONFORTO PARA CURITIBA (ACS) .	72
TABELA 5 – DISTRIBUIÇÃO DE CARTEIRAS POR FAIXA DE ILUMINÂNCIA – N-S	76
TABELA 6 – DISTRIBUIÇÃO DE CARTEIRAS POR FAIXA DE ILUMINÂNCIA – E-W	77
TABELA 7 – DISTRIBUIÇÃO DE CARTEIRAS POR FAIXA DE ILUMINÂNCIA – NW-SE	78
TABELA 8 – DISTRIBUIÇÃO DE CARTEIRAS POR FAIXA DE ILUMINÂNCIA – NE-SW	79
TABELA 9 – IDENTIFICAÇÃO DAS TEMPERATURAS LIMITE DE CONFORTO ...	81
TABELA 10 – DISTRIBUIÇÃO DE CARTEIRAS POR FAIXA DE ILUMINÂNCIA, COM BRISES NA FACHADA NORTE – N-S.....	90
TABELA 11 – DISTRIBUIÇÃO DE CARTEIRAS POR FAIXA DE ILUMINÂNCIA, COM BRISES NA FACHADA OESTE – E-W.....	91
TABELA 12 – DISTRIBUIÇÃO DE CARTEIRAS POR FAIXA DE ILUMINÂNCIA, COM BRISES NA FACHADA NOROESTE – NW-SE.....	92
TABELA 13 – DISTRIBUIÇÃO DE CARTEIRAS POR FAIXA DE ILUMINÂNCIA, COM BRISES NA FACHADA SUDOESTE – NE-SW	93
TABELA 14 – DISTRIBUIÇÃO DE CARTEIRAS POR FAIXA DE ILUMINÂNCIA, COM BRISES NA FACHADA NORTE E CÉU ENCOBERTO – N-S.....	95
TABELA 15 – DISTRIBUIÇÃO DE CARTEIRAS POR FAIXA DE ILUMINÂNCIA, COM BRISES NA FACHADA OESTE E CÉU ENCOBERTO – E-W	96
TABELA 16 – DISTRIBUIÇÃO DE CARTEIRAS POR FAIXA DE ILUMINÂNCIA, COM BRISES NA FACHADA NOROESTE E CÉU ENCOBERTO – NW-SE ...	97
TABELA 17 – DISTRIBUIÇÃO DE CARTEIRAS POR FAIXA DE ILUMINÂNCIA, COM BRISES NA FACHADA SUDOESTE E CÉU ENCOBERTO – NE-SW....	98
TABELA 18 – DISTRIBUIÇÃO DA ILUMINAÇÃO – RAZÃO ENTRE FACES OPOSTAS.....	105

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACS	Adaptive Comfort Standard
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
CELEPAR	Companhia de Informática do Paraná
CAD	Computer Aiding Design
CD	Candela
CD/M ²	Candela por Metro Quadrado
CE	Céu Encoberto
°C	Graus Celsius
°F	Graus Fahrenheit
FUNDEPAR	Instituto de Desenvolvimento Educacional do Paraná
IAPAR	Instituto Agrônômico do Paraná
LM	Lumen
LX	Lux
M ²	Metro Quadrado
MEC	Ministério da Educação e Cultura
SEEC	Serviço de Estatística da União e Cultura
TRY	Test Reference Year

RESUMO

Com o passar dos anos, as relações entre educação, tecnologia e trabalho se intensificaram a ponto do nível educacional de uma pessoa determinar a sua inserção e a sua posição na sociedade. No Brasil, a oferta de vagas nas escolas muitas vezes ainda está limitada simplesmente a questões de espaço (quantitativas), não levando em consideração a qualidade das condições de ensino oferecidas, sob todos os seus aspectos. Um dos pontos-chave diz respeito ao conforto ambiental das salas de aula, uma vez que a qualidade das relações estabelecidas nos ambientes escolares é função direta das características físicas do espaço, comprometendo as relações que devem acontecer entre estudantes e professores e influenciando de forma decisiva o desempenho dos alunos e a sua formação social e profissional. Nos últimos anos, o Brasil vem trabalhando com a política de implantar escolas públicas por meio da repetição de projetos padronizados, independentemente das características climáticas locais. Esta pesquisa verifica a qualidade das salas de aula construídas com um projeto padrão da rede pública de ensino do Estado do Paraná, com relação ao aproveitamento da luz natural. O trabalho foi desenvolvido por meio de simulações computacionais e leituras feitas em programas destinados à avaliação de luz natural, para diferentes combinações de dias, horários e possibilidades de orientação solar. Os resultados permitiram que se conhecesse os níveis de iluminação natural para diversas posições da edificação, fornecendo subsídios para que o projetista possa optar pela melhor forma de implantação do edifício, de acordo com os aspectos ambientais externos e a qualidade do espaço interno resultante. Complementarmente, traçou-se elementos de sombreamento para as diferentes orientações analisadas, de forma a melhorar os níveis de iluminação e contribuir para um melhor desempenho térmico da edificação.

ABSTRACT

The relationship between education, technology and employment has intensified to the extent that the educational level of a person determines its insertion and its position in society. In Brazil, finding a place in a public school is generally limited to available space (a quantitative issue), not taking into account the quality of the offered educational conditions, in all its aspects. One of the most important issues is related to the environmental comfort of the classrooms, since the quality of the relations established in school buildings is a direct function of the physical characteristics of the built space, which may compromise the needed interaction between students and teachers and, by its turn, affect the social and professional development of the students. In recent years, Brazil has been implementing public schools by means of a multiple repetition of standardized projects, irrespective of local climatic conditions. This study analyzes the quality of classrooms, built according to such a standard project of public schools in the State of Paraná, concerning the utilization of daylight. The analysis was developed from computational simulations with daylighting programs, for different combinations of days, schedules and possibilities of building solar orientation. Results show daylighting levels for diverse positions of the building, allowing the designer to choose the best form of building siting, considering local aspects and the quality of the resultant indoor space. Finally, shading elements were designed for each orientation in order to improve daylighting levels and the building's thermal performance.

1 INTRODUÇÃO

Durante o desenvolvimento da humanidade o trabalho esteve sempre presente, se apresentando, a princípio, sob a forma de atividades de extração e cultivo com os objetivos principais de proteção e subsistência.

De acordo com Burke e Ornstein (1999), a tecnologia da produção de instrumentos se aperfeiçoou a ponto de permitir a sobrevivência humana em áreas até então inóspitas. Essa – agora possível - longa permanência em determinadas regiões exigiu adaptações graduais no biotipo do ser humano, conforme as necessidades específicas impostas pelos locais em que os agrupamentos estavam assentados. As adversidades encontradas no ambiente em que o ser humano estava inserido geravam necessidades que, para serem supridas, dependiam do desenvolvimento de habilidades para a criação e utilização de ferramentas que garantiriam a sobrevivência do indivíduo e da espécie.

Dessa maneira, as próprias características físicas do ser humano, bem como suas formas de associação e relacionamento social foram moldadas à medida que o mundo do trabalho ampliava cada vez mais sua importância e sua esfera de influência. Assim sendo, as técnicas e as tecnologias conduziram, de forma indireta, o desenvolvimento físico do homem. O trabalho determinou a evolução da humanidade, com contribuições fundamentais para a “transformação do macaco em homem”.

Posteriormente, o início da especialização do trabalho intensificou a estratificação da sociedade e do conhecimento, com uma conseqüente e gradual perda individual do domínio do conhecimento. No período da Revolução Industrial, a aliança entre ciência e técnica significou a difusão da industrialização e do trabalho formal, modificando completamente as relações de produção até então conhecidas.

À medida que o mundo ia se industrializando, também ia sendo produzida a associação entre industrialização, tecnologia e progresso. No século XIX, as grandes exposições universais tornaram-se, segundo Pesavento (1997), espetáculos fantásticos de demonstração da modernidade, fabricando falsas imagens sobre realidade e harmonia social, com objetivos sócio-políticos de construir a hegemonia da classe burguesa. Mesmo a arquitetura dos locais que abrigavam os eventos se tornava, por vezes, símbolo dessa mesma modernidade, como grandes show-rooms

das maravilhas produzidas pelo homem aplicadas às edificações, em um exemplo típico da “reificação¹ da tecnologia”. Essa reificação “vende” erroneamente uma tecnologia determinística, capaz de transformar a sociedade independentemente de outros agentes (culturais, econômicos, políticos etc.) e ocorre com tal intensidade que chega a se configurar como instrumento de controle social, em um processo de dominação onde o progresso é mostrado e vendido como caminho natural para a evolução da humanidade.

Assim, vai se impondo uma dependência da tecnologia – entendida atualmente, segundo Neto (2003), como um sistema simbólico ou uma cultura, com linguagem e determinações próprias, formada pela reciprocidade e integração da ciência com a técnica – como solução única para o desenvolvimento da sociedade, sugerindo-a como necessidade e aproximando-as da definição de ideologia.

Com o passar do tempo, a busca constante pela quebra dos limites tecnológicos e o cada vez maior refinamento técnico e científico vão deixando mais sólidas as relações entre tecnologia e trabalho. Da mesma forma, também as relações entre tecnologia e educação vão se tornando consistentes, a ponto de configurarem uma relação indissociável, que leva Bastos (1997) a entender que a tecnologia e a educação não são apenas termos teóricos e abstratos mas são, acima de tudo, conceitos relacionados e relacionáveis.

Isto acaba por colocar a escola como um personagem fundamental na construção do indivíduo dos dias atuais, reforçando a relevância cada vez maior que o ambiente escolar tem na constituição da sociedade.

1.1 JUSTIFICATIVA

Loro (2003) destaca em sua pesquisa a relevância e o caráter interdisciplinar do tema conforto ambiental aplicado a edificações, apontando que todos os conceitos e variáveis – térmicas, acústicas e luminosas - devem ser pensados para atuar em conjunto com o objetivo de melhorar a qualidade de vida, reduzindo o consumo energético e diminuindo os impactos sobre o ambiente natural. Esta interdisciplinaridade requerida para o projeto de espaços escolares é reforçada por Pizarro (2005), que coloca a escola como um local de longa permanência e de

¹ Reificar – refere-se ao ato de naturalizar, aceitar como de origem natural algo que foi construído ou concebido pela sociedade.

função social primordial.

O processo de aprendizado está fortemente ligado à comunicação e às relações – sonoras, visuais etc. - estabelecidas em sala de aula, sendo que a qualidade destas relações é função direta das características físicas do espaço, influenciando de forma decisiva o desempenho dos alunos e a sua formação social e profissional.

Surge então, como conseqüência natural, o seguinte questionamento: existe qualidade ambiental – térmica, visual e acústica – nos ambientes escolares construídos para atender a demanda de estudantes dos dias atuais?

Da mesma forma como Loro (2003) destaca a importância do adequado comportamento acústico dos ambientes escolares, também é questão fundamental o correto tratamento das condições térmicas e de iluminação, igualmente capazes de afetar diretamente o desenvolvimento das atividades e o bem-estar de docentes e discentes.

É possível reconhecer uma certa preocupação com relação às condições de iluminação das salas de aula, mesmo nos primeiros grupos escolares. No entanto, a falta de critérios de análise culmina por uma generalização dos níveis de iluminação entre os mais diversos ambientes, avaliados sem levar em conta a especificidade e as particularidades de cada atividade.

Hopkinson et al. (1975) explicam que originalmente o objetivo principal dos padrões de iluminação natural era estabelecer relações adequadas entre visão e iluminação que beneficiassem a execução de quaisquer tarefas, evitando condições desfavoráveis e garantindo a segurança das pessoas sob os aspectos visuais. Com o passar do tempo, a essa preocupação foram sendo agregadas outras necessidades como eficiência e o conforto visual das pessoas, produzindo no Brasil estudos diversos relacionados ao uso específico de cada edificação, como para residências, lojas, escolas, hotéis e museus.

Mesmo assim, durante muito tempo projetos continuaram sendo desenvolvidos pensando o conceito de conforto do usuário final de forma desvinculada dos princípios de sustentabilidade e eficiência energética da própria construção. Percebe-se que, em grande parte, os problemas têm sua origem em usos inconseqüentes de materiais e processos, como por exemplo em dimensionamentos e posições equivocadas de grandes áreas envidraçadas em

regiões com características climáticas inapropriadas para estas soluções.

O desenvolvimento de novas tecnologias permitiu o uso de áreas de vidro cada vez maiores, mas trouxe consigo questões relacionadas à qualidade ambiental dos espaços. Além de questões térmicas e acústicas, problemas de iluminação também podem ser ocasionados pelo uso de grandes aberturas, com a criação de zonas de desconforto visual causado pela má distribuição luminosa ou por excessivos contrastes gerados por ofuscamentos.

De acordo com Mascaró (1991), raramente as aberturas – em especial as janelas – são projetadas e dimensionadas para transmitir uma quantidade de luz diurna adequada às atividades que serão desenvolvidas no local. Antes, elas são pensadas para permitir a relação do usuário com o meio exterior durante o dia e para “mostrar” a iluminação artificial à noite, produzindo assim grandes desperdícios de energia e edificações energeticamente pouco eficientes. Os sistemas de iluminação natural, quando bem projetados, podem levar a economias consideráveis em energia elétrica, sobretudo no Brasil, onde se verifica grande disponibilidade de luz natural.

Dessa forma, se faz evidente a relevância dos aspectos luminosos relativos aos ambientes escolares, onde a qualidade do aprendizado é função direta do grau de conforto ambiental apresentado pelo espaço. A visão que o aluno tem do quadro, do educador e das atividades que está realizando alteram a atenção, o comportamento e o desenvolvimento do educando, interferindo na sua formação e na sua qualificação para o trabalho. Projetos mal elaborados ou implantados de forma errônea podem comprometer a saúde física e psicológica dos usuários, o rendimento escolar dos alunos, além de gerar gastos excessivos com energia elétrica.

É latente a lacuna de critérios para o desenvolvimento de projetos e para a implantação de edifícios escolares. A inexistência de parâmetros para o dimensionamento das áreas envidraçadas, para o posicionamento das aberturas, para a especificação dos materiais empregados na construção, para a implantação da edificação e orientação das suas fachadas significa prejuízos na qualidade do ambiente final e do nível da aprendizagem proporcionada, com conseqüências na formação do indivíduo e na sua inserção na sociedade.

No Estado do Paraná, segundo Loro (2003), a gestão de obras escolares tem

sido feita pelo Instituto Educacional do Paraná – FUNDEPAR e as escolas públicas são construídas ou ampliadas conforme projetos de módulos padrão que, combinados, possibilitam atender às necessidades e características do terreno onde serão implantadas. Todas as escolas da rede de ensino público do Estado são edificadas conforme projetos arquitetônicos, estruturais, hidráulicos e elétricos padronizados, cuja uniformidade é garantida pelos Cadernos de Especificações e pelos Memoriais Descritivos de cada projeto, que significam a repetição exata de um mesmo projeto em diferentes localidades do Paraná.

De forma geral, as configurações dos módulos referentes às salas de aula da rede pública seguem dois layouts básicos: uma fileira de salas de aula com circulação lateral ou duas fileiras de salas de aula com uma circulação central entre elas.

O foco desta pesquisa é o projeto padrão 023, que se enquadra nesta segunda tipologia, sendo composto por quatro salas, duas de cada lado de um corredor central. A disposição dos ambientes, com aberturas voltadas para orientações solares opostas, traz à tona a necessidade da verificação da qualidade dos níveis internos de iluminação e da definição de parâmetros para implantação do edifício.

Os resultados obtidos contribuirão para a composição de um quadro mais completo da qualidade ambiental destas construções, agregando informações à pesquisa realizada por Loro (2003), que aborda a qualidade acústica das salas deste projeto padrão.

1.2 OBJETIVO

Segundo Vianna e Gonçalves (2004), dois dos requisitos essenciais para que se tenha uma boa visão são: a) iluminância suficiente – quantidade de luz que incide sobre uma determinada área, e b) boa distribuição da iluminação, de forma a se evitar problemas como ofuscamentos. Em função disso, a pesquisa será direcionada para o estudo das iluminâncias internas sobre os planos de trabalho e a distribuição dos níveis de iluminação no ambiente.

O objetivo do presente estudo consiste, portanto, em analisar as condições de iluminação natural das salas de aula construídas com o projeto padrão 023 da rede pública de ensino do Estado do Paraná, para diferentes posições do eixo central da

edificação com relação à orientação solar, com vistas a dar suporte para a implantação de novas escolas dessa tipologia nos diversos municípios e localidades do Estado, promovendo um melhor desempenho luminoso e, assim, contribuindo para melhorar o desempenho escolar.

A identificação da qualidade da iluminação no interior dos ambientes para as diferentes possibilidades de orientação solar, conseguida com o aproveitamento da luz natural, poderá servir de suporte para a implantação de novas escolas edificadas com essa tipologia. Uma vez que a variação da faixa de latitudes no Paraná é pequena, de aproximadamente 3°, os resultados proporcionarão aplicações em toda a região, com vistas a contribuir na eficiência energética das construções.

Considerando-se também o efeito térmico gerado pelos ganhos solares diretos para as diferentes orientações do eixo da construção, estudou-se a implantação de dispositivos de sombreamento nas janelas e o seu efeito nos níveis internos de iluminação.

Ao final da pesquisa, são apresentados dados e informações que apontam o desempenho luminoso da construção para cada orientação, bem como as posições que oferecem melhores condições em termos de luz natural sobre os planos de trabalho. Isto possibilitará ao projetista decidir quanto à implantação mais adequada para cada situação, de acordo com as condicionantes e variáveis encontradas, conhecendo de antemão os níveis de iluminação que poderão ser conseguidos.

2 ARQUITETURA E CLIMA

A arquitetura, enquanto arte de projetar e criar espaços, teve muitas vezes ao longo da história suas obras encaradas somente externa e superficialmente, como simples fenômenos plásticos. Zevi (1994) entende que a arquitetura possui um caráter essencial que a distingue das outras artes: ela age com um vocabulário tridimensional que inclui o ser humano. Ao contrário de se reservar à observação e admiração, o homem pode penetrar, caminhar e utilizar o objeto arquitetônico.

Dessa forma, a arquitetura vai além do simples agrupamento de larguras, comprimentos e alturas, tendo sua essência no vazio, no espaço interior em que os homens habitam e exercem suas atividades. Isso não significa, entretanto, que o valor de uma obra se esgota no seu valor espacial. Cada edificação possui uma pluralidade de valores, passando por valores econômicos, sociais, técnicos, funcionais, artísticos, espaciais e decorativos, entre outros.

O ato de projetar na arquitetura não possibilita a desvinculação entre interior e exterior das obras, com a determinação de maior importância para um ou para outro. O invólucro mural e o espaço interior definem e são definidos reciprocamente, tanto no que diz respeito à forma quanto à qualidade dos espaços criados.

De acordo com Batista & Ulbricht (apud PIZARRO, 2005), o ambiente construído se configura como um meio físico e, ao mesmo tempo, estético, informativo ou psicológico, projetado para agradar, servir, proteger e unir pessoas no exercício de suas atividades. A investigação e o planejamento dessas atividades estabelece a conexão entre ergonomia e arquitetura, por meio dos requisitos de projeto e dos meios que os viabilizam.

Conforme coloca Ching (1993), a arquitetura se concebe (desenha) e se realiza (constrói) como resposta a uma série de condições previamente existentes. Dessa forma, a relação com o entorno e o clima apresenta-se como uma das variáveis que influenciam a qualidade da edificação, determinando o nível de conforto dos usuários dos espaços e das condições para a execução das tarefas que ali devem ser desenvolvidas. A perfeita integração entre Homem, Clima e Arquitetura ocorre somente quando o conhecimento das condições climáticas e o conjunto das variáveis relativas ao local de implantação do edifício e às necessidades fisiológicas e exigências funcionais do ser humano são perfeitamente

analisados e traduzidos em um projeto que responda adequadamente às necessidades de conforto e função específicas a que se destina.

A opção por se projetar corretamente em relação ao clima traz, entre outros, vantagens de ordem econômica, pois embora para condições climáticas muito rigorosas a total eficiência da construção no aproveitamento dos recursos naturais não seja suficiente para desempenhos climáticos satisfatórios, mesmo assim conseguir-se-á reduzir a potência dos equipamentos necessários para climatização ou iluminação artificial, por exemplo.

2.1 O USO DA LUZ NATURAL

A luz estabelece com a arquitetura uma relação indissociável, visto que o tratamento da iluminação se apresenta como um dos elementos criadores do espaço, realçando-lhe formas e conferindo-lhe características que por vezes contribuem para a definição de estilos.

O tratamento da luz por meio do tamanho e a posição das aberturas é um aspecto fundamental para a criação da atmosfera de qualquer espaço, produzindo sensações nos usuários e induzindo seu comportamento, como a criação de pontos mais e menos iluminados para direcionar a atenção das pessoas. As características das aberturas sofrem grandes variações conforme o clima e a posição geográfica em que as construções são implantadas.

Em países de clima tropical quente e seco, as janelas se apresentam em menor quantidade e dimensão, instaladas em paredes grossas que servem para barrar o calor e controlar a luz natural. Em climas tropicais quentes e úmidos, por sua vez, a janela aumenta de proporções, enquanto elemento fundamental para ventilação dos espaços e conforto térmico dos indivíduos. Influencia diretamente o controle da radiação solar, por vezes recebendo elementos como o *mucharabi*, utilizado no período colonial brasileiro. Geralmente, em climas frios as janelas têm seu objetivo principal voltado para ganhos de luz e calor, influenciando sua quantidades e suas dimensões.

Em construções da região do Mediterrâneo, sujeitas a um clima quente e seco, as condições de iluminação durante o dia são intensas e constantes. Esse é um dos principais motivos pelos quais muitas edificações apresentam aberturas pequenas e bem localizadas, em que a luz interior é filtrada, controlada pela própria

construção. Neste caso, a própria estética dessas construções não se apóia no uso de cores ou formas extravagantes, mas em detalhes que se destacam com a luz incidente sobre as formas simples, na perfeita exploração do conceito de forma e volume conseguido com o uso de luz e sombra. Já em países de clima temperado, sobretudo onde a luz não é tão abundante, cores, materiais e texturas tornam-se elementos de grande importância para a criação da forma arquitetônica. É uma situação em que a forma e a cor fazem o papel do conjunto forma e volume.

De acordo com Vianna (2004), o desenvolvimento econômico e social do século passado estabeleceu novas tipologias de edifícios, como escolas, hospitais e fábricas, grandes locais em que várias pessoas precisavam executar tarefas visuais simultaneamente, atingindo um estágio em que o nível de iluminação tinha que responder às exigências da produção. Cada vez mais, o uso de luz apenas para reconhecimento espacial dos ambientes passa a ser substituído pela necessidade de iluminação adequada para a execução das tarefas realizadas no local e o desenvolvimento dos sistemas de iluminação artificial traz novas possibilidades de se reduzir as diferenças de utilização dos espaços durante o dia e à noite.

Baseado nisso, a obra arquitetônica passa a considerar mais o processo construtivo do que os resultados do espaço para o conforto do homem e a cada vez maior diversificação das atividades realizadas em um mesmo espaço fez com que os requisitos da produção colocassem a iluminação como dependente de critérios essencialmente racionalistas. Com o passar dos anos, percebeu-se que o aumento da produtividade e da eficiência dos usuários de um espaço estava diretamente ligado ao conforto e à melhoria da qualidade ambiental dos ambientes.

Nos últimos anos, discursos e questões de caráter ambiental despertaram novamente uma arquitetura preocupada com a integração entre os meios interno e externo, baseada no uso da luz e da ventilação naturais. As interações entre relações espaciais e tecnologias de ponta se mostram cada vez mais presentes, como pode ser percebido em obras de diversos arquitetos, entre os quais se pode destacar Richard Rogers, Norman Foster e Jean Nouvel, este último conhecido como *o arquiteto da luz*.

2.2 ABORDAGEM HISTÓRICA DO CONFORTO AMBIENTAL

Para que se entenda melhor a relevância que o conforto ambiental recebe

nos dias de hoje, faz-se necessário fazer uma rápida abordagem sobre o desenvolvimento da preocupação com o tema, traçando um paralelo com a arquitetura à luz da história.

É possível perceber ao longo dos anos as diferentes formas como as obras edificadas pelo homem vêm sendo tratadas sob o caráter ambiental. Há vários exemplos de construções adaptadas às condições climáticas específicas do lugar em que foram implantadas, como as habitações protegidas pelas encostas de pedra no deserto do Colorado, Estados Unidos ou as edificações subterrâneas do norte da China.

No entanto, o surgimento de novas tecnologias (como sistemas de ar condicionado e de iluminação artificial), foi reduzindo aos poucos a preocupação com o uso racional da energia. Conseqüentemente e de forma geral, o planejamento de edificações adequadas às condições bioclimáticas do meio em que eram implantadas foi deixando de ser prioridade da arquitetura.

Conforme Lamberts et al. (1997), a Revolução Industrial do século XIX apresentou ao mundo um novo elenco de materiais, que introduziram e influenciaram diretamente diversos elementos, como o tamanho das aberturas e panos de vidro nas construções. A partir da década de 30 do século passado, o avanço das tecnologias do vidro, da iluminação artificial, do ar condicionado e das estruturas metálicas, entre outros, permitiram o aparecimento de fachadas inteiramente envidraçadas, ou *cortinas de vidro*.

Um dos principais representantes desta arquitetura no período foi Mies van der Rohe, com obras como o *Seagram Building*, de 1958 (Figura 1). A partir da década de 50, difundem-se pelo mundo os edifícios com *pele de vidro*. Na maioria das vezes seguindo um estilo internacional implantado em condições totalmente diversas das realidades climáticas locais, tem-se como resultado construções indiferentes ao meio exterior e climatizadas por sistemas eletro-mecânicos. É uma prova clara do que diz Bastos (1997) sobre o mito das tecnologias como formadoras de um “admirável mundo novo”, importadas indiscriminadamente para solucionar problemas fora de contextos regionais e sociais.

Corbella e Yannas (2003) entendem que a expansão das técnicas construtivas e a abundância de combustível barato, após a II Guerra Mundial, permitiram que a tecnologia da engenharia suplantasse e deixasse de lado

atribuições e preocupações naturais da arquitetura, como o conforto térmico - assumido pelo engenheiro térmico - e a iluminação natural – substituída pela artificial e calculada pelo engenheiro eletricista.

FIGURA 1 – SEAGRAM BUILDING, DE MIES VAN DE ROHE, 1958



Fonte: www.thecityreview.com

2.2.1 O conforto ambiental no Brasil

No Brasil, a consciência e a preocupação com as questões ambientais relacionadas às construções vêm ganhando importância com o passar dos anos. A visualização desse desenvolvimento ajuda a construir o cenário atual, fornecendo as bases para a contextualização e a importância desta pesquisa.

As primeiras construções edificadas pelos colonizadores nada tinham a ver com as características locais, como sistemas construtivos desenvolvidos para clima europeu e trazidos pelos colonizadores (portugueses, franceses, holandeses e alemães) para serem implantados em regiões diversas do país. A vinda da família real ao Brasil trouxe ao país sementes da industrialização e produtos da Revolução Industrial, como ornamentos e o uso do vidro nas janelas, que até então eram fechadas com madeira ou outros materiais, criando novos hábitos na população.

Aos poucos as construções vão sendo adaptadas às condições climáticas regionais, embora por um bom tempo essa não seja uma preocupação principal,

explicada pelo caráter de provisoriedade, fruto da herança colonialista. Somente durante o século XX, as técnicas de conforto ambiental deixam de ser tratadas exclusivamente sob olhares físico-deterministas e médico-higiênicos e passam a demonstrar reais preocupações também com o clima e o meio em que a construção está inserida. Juntamente com a ventilação, começam a ser levadas em conta também as variáveis luz e calor como condicionantes de projeto.

A partir da década de 30, diversos representantes da arquitetura nacional passam a adquirir uma consciência, surgida juntamente com os preceitos modernistas, sobre a relação do espaço construído com o meio ambiente, baseando-se em exemplos de fora do país, onde arquitetos como Frank Lloyd Wright e Le Corbusier desenvolviam seus projetos dando significativa importância para as questões climáticas. No entanto, não são raros os casos em que soluções arquitetônicas específicas para uma região passam a ser copiadas e aplicadas com simples função estética em locais inadequados. Nessa época, Carlos da Silva Prado classificava como um grupo isolado os arquitetos que compreendiam que a arquitetura moderna não era feita de receitas modernas. O engenheiro-arquiteto José Maria da Silva Neves corroborava, dizendo que “(...) fazer arquitetura moderna não significa copiar o último figurino de Moscou ou de Paris. A arquitetura racional exige o emprego de materiais da região, atendendo às condições de clima, usos, costumes, etc. Obedecendo a esses princípios básicos, criaremos um estilo original de cada povo”. (SEGAWA, 2002, p.67)

Neves se referia ao pensamento racionalista dos anos de 1930, quando conceitos como funcionalidade, eficiência e economia eram adotados em obras públicas, inclusive na arquitetura escolar da época, caracterizada por linhas geometrizarantes.

A partir dos anos 40 passa-se a utilizar intensamente brise-soleils² e cobogós³ nos edifícios, fazendo com que o uso de elementos de proteção solar na fachada torne-se característica marcante da arquitetura brasileira no período, contribuindo para que o pavilhão brasileiro da Feira Mundial de Nova York de 1938 (Figura 2), de

² Brise-soleil – palavra de origem francesa. Se refere ao quebra-sol composto de peças de madeira, plástico ou metal, instalado vertical ou horizontalmente diante da fachada para impedir a ação do sol sem perder a ventilação.

Lúcio Costa e Oscar Niemeyer, fosse um dos destaques da exposição. Essa preocupação com as condições locais, traduzida por meio de brises, pilotis, sistemas de ventilação natural cruzada baseada nas diferenças de temperaturas das fachadas é classificada pelo arquiteto Henrique Mindlin, em 1945, como “adaptação profunda à terra e ao meio”, no que ele chama de “arquitetura do Sol”.

FIGURA 2 - PAVILHÃO DO BRASIL - FEIRA MUNDIAL DE NOVA YORK, 1938



Fonte: Segawa (2002)

Entre as décadas de 30 e 50 os estudos de Paulo Sá, que Oliveira (2003) classifica como um dos responsáveis pelo início dos estudos em conforto térmico no Brasil, ajudaram a desenvolver os conhecimentos sobre insolação e iluminação, fundamentais para o desenho de brise-soleils, elementos marcantes da arquitetura moderna.

Segawa (2002) coloca que, por volta de 1960, a criação de escolas de arquitetura em várias regiões do Brasil e os deslocamentos de profissionais de uma região para outra em busca de novas oportunidades ajudaram a disseminar os preceitos da arquitetura moderna, possibilitando trocas de experiências e conhecimentos que levaram alguns arquitetos a projetar de acordo com as características climáticas e ambientais dos locais em que se encontravam. Como exemplo, podem ser citados os arquitetos Oscar Arine, que transferiu-se de São Paulo para Cuiabá e Severiano Porto, que trocou o Rio de Janeiro por Manaus.

No entanto, a industrialização, o desenvolvimento de novas tecnologias na construção e o aprofundamento dos conhecimentos sobre determinados materiais,

³ Cobogós ou combogós – Também conhecidos como elementos vazados, são comuns em muros, paredes e fachadas. São peças produzidas em concreto, cerâmica ou vidro, dotada de aberturas que possibilitam a passagem de ar e luz para o interior da casa.

como o concreto armado, voltam os olhos dos arquitetos principalmente para questões de ordem técnica e formal, levando a arquitetura contemporânea nacional a seguir padrões internacionais, importando soluções inadequadas às condições locais.

Como efeito, tem-se a utilização em larga escala de sistemas de iluminação e climatização artificiais, sobretudo a partir da década de 60, para adequar ou corrigir o clima interno dos edifícios, gerando o que Lamberts et al. (1997) denominam “hemorragia energética e econômica”.

A crise de energia dos anos 70 inicia o esboço de uma preocupação mundial com o meio ambiente e começa a despertar em alguns arquitetos nacionais, como João Batista Vilanova Artigas, a consciência sobre questões como racionalidade, eficiência e economia. A partir da segunda metade da década de 80, a quantidade e, sobretudo, a falta de qualidade da produção arquitetônica relativa aos anos do “milagre econômico” brasileiro ajudou a reforçar as bases dos debates da pós-modernidade. Desde então, esses questionamentos passaram a dar valor a obras adaptadas a cada região do Brasil, país cuja extensão e diversidade climática exigem que o conforto ambiental seja considerado item fundamental em qualquer projeto, reconhecendo o valor do trabalho de profissionais como Severiano Porto e João Filgueiras Lima, entre outros.

2.2.2 Organismos e normatização sobre conforto ambiental

Como consequência da crescente preocupação relativa às questões ambientais, são criados institutos, associações e grupos de pesquisa com o objetivo maior de contribuir para o desenvolvimento tecnológico do país. De acordo com Oliveira (2005), as pesquisas sobre avaliação de conforto térmico no Brasil, no início do século XX, possuem grande ligação com o Instituto Nacional de Tecnologia do Rio de Janeiro (INT), primeira instituição de pesquisa tecnológica do país a atuar pelo Governo Federal, fundado em 1921, mas assim denominada somente em 1933. Uma das seções do INT que mais se destacaram foi a de materiais de construção, chefiada durante muito tempo pelo engenheiro Paulo Sá.

Em 1899, o Gabinete de Resistência de Materiais, criado para atender às necessidades de ensaios de materiais de construção e do curso da Escola Politécnica de São Paulo, foi o embrião do que viria a ser o Instituto de Pesquisas

Tecnológicas de São Paulo (IPT). A evolução do Instituto na década de 40 resulta em uma maior diversificação de suas atividades, que têm relação com etapas importantes na história da pesquisa tecnológica do Brasil.

Dentre suas muitas áreas de atuação atualmente, encontram-se a engenharia civil e a tecnologia ambiental. Há mais de 20 anos, o Laboratório de Conforto Ambiental do IPT realiza pesquisas, simulações computacionais, medições de campo, ensaios e difusão de informações sobre desempenho térmico, acústico e de iluminação de edificações visando à homologação, à certificação e ao desenvolvimento de produtos ou à otimização de projetos.

Em 1987 é fundada a Associação Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído (ANTAC), reunindo pesquisadores, docentes e profissionais das áreas de Habitação, Construção e Tecnologia da Arquitetura com objetivos, entre outros, de contribuir para o desenvolvimento da tecnologia no ambiente construído no país, promover a integração e o intercâmbio entre as instituições de pesquisa, difundir e divulgar conhecimento através de publicações, eventos técnicos e científicos e outros meios.

As atividades da ANTAC são organizadas em grupos de trabalho, como o de Conforto Ambiental e Eficiência Energética, que possui como uma de suas metas principais promover a criação de Normas Técnicas Brasileiras referentes a conforto e energia. Para isso, já em 1991 realizou o “Primeiro Encontro Nacional sobre Normalização quanto ao Uso Racional de Energia e ao Conforto Térmico em Edificações”.

Para atender às solicitações do Grupo, o Comitê Brasileiro de Construção Civil (CB-02) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) criou três Comissões de Estudos (CEs) para elaborarem textos normativos sobre conforto térmico, acústico e luminoso. Em 1998, essas Comissões se reuniram em Florianópolis para compatibilização das propostas, gerando projetos das normas, que seriam submetidos à apreciação pública e votados, para posterior publicação.

O Projeto de Normalização em Conforto Ambiental foi desenvolvido pela Universidade Federal de Santa Catarina com o financiamento da Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP, dentro do Programa de Tecnologia para Habitação (HABITARE). Abordando as áreas de Térmica, Iluminação e Acústica participaram do projeto o Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEEE), o

Laboratório de Conforto Ambiental (LABCON), o Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas dos Materiais (LMPT), o Laboratório de Vibrações e Acústica (GTVA) e a Sociedade Brasileira de Acústica (SOBRAC).

Segundo o Programa de Tecnologia de Habitação (HABITARE), na área de Desempenho Térmico foram concebidas cinco normas, na de Iluminação Natural quatro normas e na de Acústica foram revistas duas normas e criadas outras duas, com os textos tratando de questões como definições, símbolos, unidades, procedimentos de cálculo e orientações.

2.2.3 *HERS* e Retrofits

Mais do que a falta de conhecimento técnico ou a não-consideração dos fatores ambientais na elaboração dos projetos arquitetônicos, a política imobiliária brasileira influi diretamente na qualidade dos edifícios. Geralmente o investidor inicial não corresponde ao usuário final da construção. Como determinadas soluções por vezes exigem altos investimentos iniciais, as preocupações com a redução dos custos e o aumento da lucratividade são direcionadas para a fase de construção, ignorando problemas posteriores referentes a questões de desempenho e eficiência energética.

A existência de legislações que obrigassem a avaliar e otimizar o consumo de energia das edificações poderia ter reflexo direto sobre os projetos e as tecnologias empregadas, reduzindo em parte a ação inibidora dos investidores. Tem-se como exemplos de sistemas de avaliação energética os *Home Energy Rating Systems (HERS) Programs*, nos EUA, que avaliam a eficiência energética de construções novas ou existentes, recomendando melhorias e os *HERS* desenvolvidos na Austrália para medir a energia utilizada pelas residências.

Legislações específicas estabelecem níveis de eficiência energética e as construções são avaliadas por simulações, devendo ser construídas ou adequadas aos níveis mínimos estabelecidos. Considerando variáveis como orientação, insolação, materiais, aberturas, entre outros, a edificação recebe a classificação de acordo com uma escala de valores. Bons resultados significam construções com maiores graus de conforto ao usuário e baixos custos de energia.

A prática chamada *retrofit* permite tornar edifícios já existentes em construções mais econômicas com relação às questões energéticas. No entanto, os

custos são elevados e dados apontam para tempos de amortização entre 5 e 20 anos, indicando ser mais viável adotar estratégias adequadas ao clima ainda na fase de projeto, para que se obtenha uma construção adaptada ao local em que está implantada, levando em consideração condicionantes como orientação solar, direção dos ventos, tratamento do entorno das edificações, inércia térmica e outros.

3 ARQUITETURA E EDUCAÇÃO

Mais do que simples aplicações técnicas, a interação da educação com a tecnologia permite a compreensão dos homens, dos fenômenos humanos e dos fatos, visto que esta pode ser considerada como uma linguagem capaz de provocar ações sociais. Quando mediada pelo trabalho, cria uma série de novas relações, fruto do contato da atividade profissional com os novos paradigmas tecnológicos.

3.1 EDUCAÇÃO E TECNOLOGIA

A segunda metade do século XX configura um período em que as inovações tecnológicas, associadas às necessidades do mercado cada vez mais internacional, influenciam diretamente e de forma acelerada diversos aspectos da vida social. Modificações no mercado de trabalho e na sociedade humana exigem a transformação e o aparecimento de instituições para preencher um espaço antes ocupado pela família, com as escolas passando a exercer um papel de fundamental importância enquanto elemento socializador e de formação dos indivíduos.

É por meio da educação que se transmite, dentre outros, o conhecimento, os padrões culturais, os símbolos sociais e as relações de poder, dando ao cidadão condições de conceber e construir sua emancipação político-econômica. Na sociedade moderna, onde o conhecimento e o acesso ao saber são tão ou mais importantes que o recurso ao mercado, a escola, enquanto sujeito responsável pela transmissão do conhecimento, tem – ou deveria ter - a responsabilidade da formação de uma consciência crítica que permita ao indivíduo a compreensão do mundo que o cerca e do papel social e político que deve exercer.

Com isso, além de ser responsável pela inserção do homem na sociedade, também a educação interfere na posição social que por ele será ocupada, visto que o aprendizado está vinculado ao que se necessita para o desempenho de funções na sociedade. De forma direta, no mundo de hoje, onde o desenvolvimento tecnológico cada vez mais exige mão-de-obra qualificada, tem-se como conseqüência, segundo Carvalho (1998), que trabalhadores com baixo nível educacional acabam sendo afastados do mercado por não atenderem às exigências de preparação para desempenhar as atividades relacionadas às novas tecnologias.

Diante disso, percebe-se que o capital educacional de uma pessoa - a

quantidade de anos de estudo e a qualidade da educação recebida - interfere de maneira veemente na sua oportunidade de crescimento social. A qualidade da educação recebida se reflete, com a diferença de remuneração entre a mão-de-obra mais e a menos qualificada, na posição social ocupada pelo trabalhador, realçando ainda mais a importância da escola na formação do ser humano.

3.2 AS CONSTRUÇÕES ESCOLARES

De início, a educação era indissociada do trabalho, com o objetivo de transmitir experiências acumuladas pelas gerações passadas e as preocupações morais, sociais, políticas e religiosas das comunidades. Mais tarde, sobretudo em sociedades apoiadas no modo de produção escravista, a educação passa a se destinar aos homens livres, privilegiando-se a formação completa do indivíduo, com o desenvolvimento de determinadas aptidões e comportamentos. Conforme Krüger et al. (2000), o ensino começa a ser praticado em locais específicos para este fim e seu vínculo com o trabalho começa a ser quebrado, uma vez que é direcionado especialmente para aqueles que desempenharão funções mais nobres.

Na Idade Média, impulsionada pela servidão e pelo modo de produção feudal, a educação ocorre subordinada à religião, acontecendo através desta e em oposição ao conceito liberal e individualista dos gregos e à educação prática e social dos romanos. Percebe-se uma clara distinção entre o conhecimento ensinado aos que vão fazer e o destinado aos que devem saber. De qualquer forma, ler e escrever ainda eram tidos como atividades secundárias, seja para nobres ou para trabalhadores braçais.

Somente a partir da Idade Moderna, fruto de uma série de mudanças econômicas, sociais, culturais, religiosas e políticas é que a educação passa a ser mais acessível. A alfabetização passa a ser uma exigência e o ensino de ler e escrever passa a acontecer de maneira mais usual. Passa-se a dar mais valor aos conhecimentos técnicos, sobretudo a partir do século XIX, devido às exigências da industrialização.

Ao lado dos conhecimentos clássicos, passam a ser ministrados também conteúdos técnicos e científicos. O papel da nobreza passa a ser ocupado pela burguesia e junto com ela vem uma distinção no ensino: o proletariado frequenta as escolas primárias e profissionais e a burguesia as escolas superiores. O saber se

transforma em meio de dominação e expropriação, com base na divisão do trabalho intelectual e de execução.

Surgem então os sistemas públicos de educação, como resposta do Estado à classe de trabalhadores, que tinha necessidade de acesso à escola para adquirir conhecimentos que suprissem as exigências do ambiente industrial que se difundia cada vez mais. Neste contexto, apesar de público e gratuito, o ensino continua deixando evidente a distinção social existente entre os freqüentadores dos diferentes ambientes escolares: públicos destinados à classe trabalhadora e particulares destinados à classe dirigente.

De acordo com Bencostta (2005), Os modelos escolares do período do Brasil República se baseiam nas experiências educacionais européias, sobretudo as da escola francesa. Mesmo se assemelhando de maneira incompleta a estes modelos, as instituições de ensino brasileiras dos fins do século XIX já se diferenciavam daquelas existentes no período monárquico. O advento dos grupos escolares como a reunião de várias escolas primárias em uma mesma área significou uma maior necessidade de projetos que organizassem o espaço escolar e influenciou as regras para localização destes edifícios, visto que deveriam funcionar como pontos de destaque na cena urbana, símbolos do ideal republicano.

Ainda, a nova organização administrativo-pedagógica da escola primária, baseada na graduação escolar, implicou em determinadas ordenações dos espaços, das atividades, dos ritmos e dos tempos, assim como em diferentes distribuições de usos desses espaços e objetos, muitas vezes direcionando as construções de acordo com questões de funcionalidade e economia, comuns para as obras públicas do período e fruto do pensamento racionalista da primeira metade do século XX.

A preocupação com a qualidade do ensino no Brasil levou o Serviço de Estatística da Educação e Cultura – SEEC/MEC, em 1931, a assinar um convênio entre União e Estados com o objetivo de suprir a necessidade de informações estatístico-educacionais, para avaliação, planejamento e decisões de políticas referentes à rede de ensino (INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO EDUCACIONAL DO PARANÁ - FUNDEPAR, 2004).

Atualmente, apesar do censo escolar fornecer um diagnóstico mais preciso sobre movimento e rendimento de alunos e condições físicas de prédios e equipamentos, entre outros, ainda existe a carência de informações mais criteriosas

sobre os níveis de desempenho e conforto ambiental apresentados pelos ambientes escolares. Preenchendo em parte essa lacuna, vêm sendo realizados no Brasil, nos últimos anos, diversos estudos que abordam as condições de conforto ambiental em ambientes escolares, como os trabalhos desenvolvidos por Cabus e Pereira (1997), Xavier e Lamberts (1997), Bogo e Pereira (1997), Labaki e Bartholomei (2001), Kowaltowski et al. (2002), entre outros.

Na década de 70, o Brasil adotou o princípio de construir as escolas da rede pública de ensino conforme um padrão único, sem levar em consideração as possíveis diferenças climáticas em que eram implantadas. Considerando que as condições ambientais encontradas em determinado local influenciam a qualidade das tarefas e o desenvolvimento das atividades realizadas em seu interior, tem-se que a ampliação da rede de ensino público pela repetição de mesmas tipologias pode vir a comprometer diretamente a saúde e o rendimento escolar dos alunos, além de gerar edifícios pouco econômicos e com baixa eficiência energética.

3.3 ARQUITETURA ESCOLAR E ILUMINAÇÃO

Face ao alto custo da aplicação de retrofits para a transformação de edifícios existentes em construções energeticamente mais eficientes, ficam evidentes as vantagens de encontrar soluções já nas etapas projetuais. Preocupações com níveis de iluminação interna em escolas são verificadas já em relatos do início do século passado, embora a ausência de critérios e diretrizes orientasse para reproduções de soluções baseadas meramente em experiências práticas ou opiniões pessoais.

As primeiras escolas do Paraná no início do século XX tomaram como referência o modelo paulista de organização do ensino elementar público, através dos grupos escolares de São Paulo do final do século XIX. A concentração das atividades em um único local procurava atender basicamente a questões econômicas, de fiscalização e de higiene dos novos edifícios, agora específicos para as novas práticas.

O êxito da escola, mais do que nunca, dependia de uma seqüência sistemática e metódica do ensino, aliada a condições físicas adequadas para as atividades desenvolvidas. Desde o início, no entanto, o investimento dos poderes públicos paranaenses não foi correspondente ao discurso que propunha a regeneração da sociedade por meio da educação e que apresentava a instrução

pública como co-responsável pela missão de preparar futuros cidadãos capazes para o mundo moderno. A construção de edifícios escolares convenientes à sua função passa a ser mais uma estratégia de visibilidade do governo do que uma ação voltada para a melhoria da qualidade da educação.

O bom estado e as questões de higiene dos primeiros grupos escolares eram alvo, inclusive, dos olhos da imprensa, como se pode ver em texto de 1904 de *A República* (apud BENCOSTTA, 2005), em que se qualifica a boa escola como sendo bem localizada, acessível, exposta ao nascente, clara, ajardinada e mobiliada de acordo com a estrutura (física) do estudante e as necessidades do ensino.

Não se pode negar que havia uma preocupação relacionada à distribuição da luz no interior das salas e à orientação das aberturas deste tipo de ambiente, a ponto de se tornar constante o conceito de que a abundância de luz seria ponto favorável à qualidade do espaço, equiparada à relevância recebida pela ventilação e pela localização sanitária. Alguns pensamentos de autoridades da época comprovam isto, como no trecho que transcreve as opiniões do diretor-geral de Instrução Pública, Arthur Pedreira da Silva, de 1907, transcrito por Bencostta (2005, p.115):

É conveniente insistir V. Ex.^a no sentido de serem construídos edifícios apropriados, isto é, altos, espaçosos, claros e fartamente arejados, havendo nas paredes inscrições que concitem as crianças ao cumprimento do dever cívico. Segundo a opinião mais corrente, a orientação das casas escolares deve subordinar-se ao clima da localidade, sendo sempre preferível evitar que o frontispício vise para o poente.

Outro texto, de 1910, também citado por Bencostta (2005, p.125), se referindo ao Grupo Escolar 19 de Dezembro reforça esta visão quando diz que:

Os salões das classes e compartimentos acessórios são completamente independentes uns dos outros. Amplamente ventilados e iluminados satisfazem a todas as regras pedagógicas exigidas, tendo até um cubo de ar, por aluno que em média poderá freqüentar cada classe, superior ao que determinam os tratados que se preocupam com o importante assunto da higiene escolar.

Também colocando a ventilação e a iluminação como itens indispensáveis para comentar sobre a qualidade dos ambientes escolares, o delegado de Ensino e inspetor escolar interino de Curitiba, Cândido Natividade da Silva, em 1917 coloca

que “(...) Os grupos escolares estão todos providos de excelente mobiliário e material técnico, dispondo todos de muita luz e aeração.” (BENCOSTTA, 2005, p.115)

Da mesma forma, estes eram quesitos que serviam também para embasar críticas a muitos grupos, como neste caso, em que o delegado fiscal da 1ª Circunscrição Escolar, Laurentino de Azambuja coloca a respeito do Grupo Escolar Oliveira Bello, na visita que fez ao estabelecimento de Curitiba, em 1907: “(...) a sala de aula é espaçosa, ventilada, mas não oferece os requisitos higiênicos relativos à distribuição da luz solar.” (BENCOSTTA, 2005, p.120)

Em 1929, foi publicado o Regulamento da Diretoria Geral de Saúde Pública, onde ainda se percebe claramente a tônica médico-pedagógica que ditava as diretrizes para a construção dos edifícios escolares. Preocupações com as condições de higiene, manutenção, ventilação e iluminação natural das salas ficam claras sobretudo nos itens seguintes, retirados do artigo 855 do referido Regulamento:

(...) a ventilação das salas de aula deverá ser perfeita, sem correntes de ar que possam prejudicar a saúde das crianças;

(...) o pé-direito mínimo das salas de classe será de três metros, devendo ser aumentado, quando as condições de iluminação natural assim o exigirem;

(...) a iluminação das classes deverá ser unilateral esquerda, sendo tolerada a bilateral, desde que proceda de faces paralelas;

(...) a iluminação das classes deverá ser tal, que na fila de carteiras mais afastadas das janelas o centro da mesa receba iluminação em dias nublados, nunca inferior a vinte e cinco luzes.

No entanto, o fato destes pensamentos e regras estarem fundamentados em grande parte no conhecimento empírico é uma das explicações de porque ao longo dos anos tenha se valorizado mais a quantidade do que a qualidade da iluminação dos espaços de ensino.

Atualmente no Paraná, assim como em outros estados, as escolas da rede pública de ensino são construídas por meio da repetição de módulos dos diversos ambientes – salas de aula, sanitários, administração etc., que são agrupados

conforme as necessidades do local e a disponibilidade do terreno. Estes módulos são resultados de projetos-padrão, desenvolvidos especificamente para atender a questões econômicas, de flexibilidade e padronização da rede.

Dessa forma, considera-se que um projeto para escolas estaduais ou municipais atende aos requisitos quando está de acordo com determinadas restrições e diretrizes constantes em catálogos de especificação destes projetos e normas técnicas pertinentes.

Somente essas considerações, no entanto, não são suficientes para promover a qualidade dos espaços, uma vez que as questões relacionadas ao conforto ambiental não são relacionadas ou tabuladas como critérios para verificação dos projetos existentes ou para a concepção de novos projetos. Esta lacuna na avaliação culmina com a existência de edifícios de baixo desempenho energético, capazes de prejudicar o rendimento e a saúde dos seus usuários.

Pizarro (2005) identifica que escolas construídas na década de 30 revelam características de um modelo republicano, como simetria e ecletismo, enquanto escolas da década de 80 são marcadas pela padronização de componentes do edifício, ou do próprio edifício, refletindo um período de governo em processo de endividamento externo.

Krüger et al. (2004) apontam a adoção de projetos padrão para edificações escolares como uma das causas de problemas de conforto ambiental, uma vez que a padronização não leva em conta situações locais específicas. Pesquisas do ambiente escolar em países onde há normas e códigos de obras rigorosos estudam, entre outros, aspectos relativos ao espaço físico - como o tipo de projeto arquitetônico e da configuração das salas de aula, o porte da escola e a quantidade de usuários dos espaços, a disposição do mobiliário, os tipos, quantidades e dimensões de janelas e luminárias ou a organização do material didático nas paredes – atribuindo-lhes a devida importância e reconhecendo-os como elementos capazes de influenciar diretamente a qualidade da aprendizagem.

A estes estudos somam-se diversos outros, que abrangem temperaturas internas e sensações de usuários, qualidade acústica de salas de aula, níveis de iluminação, eficiência e otimização de prédios escolares, como o de Graça et al. (2001). Especificamente com relação à qualidade da iluminação, inúmeros trabalhos tratam de questões relacionadas a avaliação, ensaios ou simulações

computacionais, conforto e desempenho luminoso de construções, como o realizado por Papst et al. (1998), por Suga (2005), por Labaki e Bartholomei (2001) e por Pedrosa et al. (2003), entre outros. Todas estas pesquisas contribuem para a composição de panoramas completos sobre o conforto ambiental, a eficiência energética e a sustentabilidade dos projetos de estabelecimentos de ensino.

3.4 CONCEITOS E VARIÁVEIS ENVOLVIDAS

Pode-se entender que conforto ambiental consiste em um equilíbrio dinâmico entre o homem e as condições ambientais, favorecendo as trocas de energia e as informações entre o ser humano e seu entorno imediato. Corbella e Yanas (2003) reforçam o conceito ao dizer que uma pessoa está em um ambiente físico confortável quando se sente em neutralidade com relação a ele.

Considerando isto, o conforto visual pode ser entendido, segundo Pizarro (2005), 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 menor risco de prejuízos à vista e com reduzidos riscos de acidentes.

De acordo com Vianna e Gonçalves (2004), uma vez que as fontes de luz emitem ondas eletromagnéticas, das quais o olho humano é sensível somente um certo intervalo de comprimento, pode-se dizer que luz diz respeito à radiação eletromagnética capaz de produzir estímulos visuais. Partindo daí, a radiação total emitida por uma fonte, dentro dos limites que produzem estímulos visuais, é chamado de fluxo luminoso, cuja unidade é o *lumen (lm)*. O fluxo luminoso irradiado na direção de um determinado ponto configura a intensidade luminosa, medida em *candelas (cd)*.

lida (apud PIZARRO, 2005) coloca que muitos fatores influenciam na capacidade de discriminação visual, como faixa etária e diferenças individuais. No entanto, algumas condicionantes podem ser destacadas pelo seu grau de importância e por serem mais passíveis de controle que outras: quantidade de luz, distribuição da iluminação, tempo de exposição e contrastes.

Nestas condicionantes, é possível identificar três grandezas fotométricas que podem ser associadas à iluminação natural: iluminância, luminância e contraste.

Iluminância é o fluxo luminoso que incide sobre uma superfície situada a uma

determinada distância da fonte, ou seja, é a quantidade de luz que está chegando em um ponto. Relacionando o fluxo luminoso (lm) com a unidade de área (m^2), a iluminância é medida em *lux (lx)*.

Uma vez que os raios luminosos não são visíveis, a sensação de luminosidade é decorrente da reflexão desses raios por uma superfície. Assim, a Luminância diz respeito à intensidade luminosa refletida por esta superfície iluminada e sua unidade é a cd/m^2 .

Vianna e Gonçalves (2004) colocam que, ao se considerar que a iluminância se refere à luz incidente, não visível, e que a luminância se refere à luz refletida, visível, compreende-se que uma certa iluminância pode gerar diferentes luminâncias, visto que os objetos possuem diferentes capacidades de reflexão da luz.

Conforme Egan e Olgyay (apud PIZARRO, 2005), a distribuição da luz é fortemente dependente das refletâncias do ambiente. Conhecendo-se as refletâncias dos materiais componentes do espaço e do mobiliário interno, pode-se verificar a distribuição da iluminação e a quantidade de luz que incide em determinado ponto deste mesmo espaço, a partir de um fluxo e/ou uma intensidade luminosa conhecida.

Pizarro (2005) coloca que para que um objeto possa ser discriminado em relação ao tempo de exposição, deve-se analisar o seu tamanho, o nível de iluminação e o contraste. Lamberts et al. (1997) definem contraste como a diferença entre a luminância (brilho) de um objeto e a luminância do entorno imediato deste objeto. Quando ocorrem contrastes excessivos entre as luminâncias de objetos do campo visual ou entre figura e fundo, identifica-se o ofuscamento causado por contraste.

O ofuscamento é uma sensação relacionada a perturbação, desconforto e até mesmo perda de visibilidade, que pode também produzido por saturação, ou seja, quando o olho é saturado com luz em excesso.

Dessa forma, o ofuscamento pode ocorrer diretamente, pela visão direta da fonte de luz, ou indiretamente, por reflexão. Carvalho (1970) indica o ofuscamento como sendo uma das causas mais comuns da fadiga visual.

Estes efeitos, em se tratando de escolas, podem ocorrer tanto nos planos de trabalho (carteiras e mesas) como no quadro negro, cada qual configurando

problemas e soluções distintas, dentro de suas próprias especificidades.

Frota e Schiffer (2003) destacam que o Sol que penetra pelas aberturas pode provocar um tipo de ofuscamento causado pela incidência direta sobre equipamentos, mobiliários ou quaisquer objetos de maneira indesejável ou prejudicial.

A determinação do nível de iluminação adequado para tarefas visuais pode levar em consideração diversos fatores, dentre os quais:

- a característica da tarefa;
- o tamanho dos detalhes críticos da tarefa;
- a distância que esses detalhes são vistos;
- a luminância da tarefa (em função do fator de reflexão);
- os contrastes entre tarefa e entorno;
- a velocidade com que essa tarefa deve ser desenvolvida;
- o grau de precisão exigido na sua realização;
- a idade de quem realiza a tarefa.

Levando isso em consideração, a norma *NBR 5413 – Iluminância de interiores* estabelece valores de iluminâncias médias mínimas em serviço para iluminação em interiores, onde se realizem atividades de comércio, indústria, ensino, esporte e outras.

Segundo Brown e DeKay (2004), o percentual de iluminação disponível no interior de uma edificação é chamado de coeficiente de luz diurna e é função do tamanho e da localização das janelas, das obstruções do céu, do nível de transmissão de luz das vidraças e das refletâncias interiores. Já a iluminância externa é função das condições climáticas e da latitude, podendo variar conforme condições de céu nublado ou céu claro. Neste último caso, a iluminância externa variará de acordo com a estação do ano e a latitude do local.

É fundamental que se leve em conta estes itens para a obtenção de respostas confiáveis a respeito dos níveis de iluminação em um espaço.

Assim como a incidência solar direta pode gerar ofuscamentos e condições indesejáveis de iluminação, também pode alterar a temperatura interna do ambiente, provocando sensações de desconforto térmico aos usuários. Conclui-se que uma melhor orientação solar em termos de iluminação pode não significar melhores

condições térmicas internas, devido ao excesso ou à escassez de insolação direta.

Frota e Schiffer (2003) colocam que o controle da insolação através de elementos de proteção solar representa um importante dispositivo para o projeto de ambiente térmico, devendo estes ser dimensionados conforme a orientação solar, a latitude e a época do ano em que se deseja proteção.

As latitudes são medidas a partir da Linha do Equador, imaginando-se que cada ponto da superfície terrestre esteja contido em um semicírculo paralelo ao Equador e distante deste segundo ângulos que variam de 0° a 90° , classificados como Norte ou Sul, conforme sua posição acima ou abaixo da Linha. A latitude de uma região, associada à época do ano, vai determinar o ângulo de incidência dos raios de sol com relação ao plano do horizonte do lugar.

De acordo com Bittencourt (2000), o dimensionamento equivocado dos dispositivos ou a ausência dos mesmos quando há necessidade pode refletir em reduções drásticas do nível de iluminação natural ou a fortes contrastes provocados pelo alto nível de iluminamento em áreas próximas às aberturas. De um jeito ou de outro, como consequência tem-se uma sobrecarga indevida da iluminação artificial como forma de corrigir estes problemas.

A direção do eixo de rotação da Terra permanece constante ao longo de todo o ano, formando um ângulo de $23^\circ 27'$ em relação ao plano que contém a trajetória elíptica do planeta. Esta inclinação é a responsável pelas diferenças estacionais ao longo do ano. Devido aos movimentos da Terra, um observador terrestre tem a impressão de que o Sol é que se movimenta, configurando “trajetórias aparentes do sol”. Estas trajetórias aparentes podem ser determinadas para cada dia do ano, em função de cada latitude e podem ser representadas em “cartas solares”.

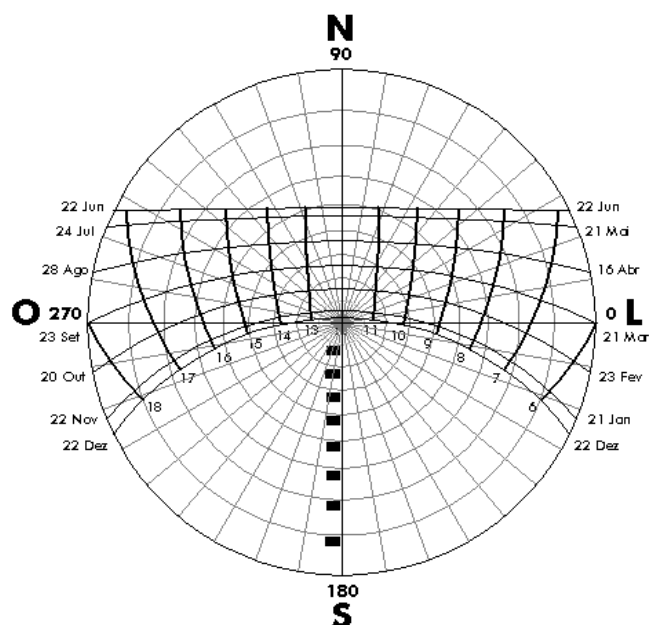
Algumas trajetórias são usualmente mais utilizadas e se destacam por suas condições: 1) solstícios de verão e inverno, que configuram as posições mais extremas do percurso; e 2) equinócios. No solstício de verão tem-se o dia mais longo do ano e no de inverno o dia mais curto. Já o equinócio (primavera e outono) corresponde às datas em que dias e noites têm a mesma duração.

3.4.1 Cartas solares

As cartas ou diagramas solares são representações gráficas das trajetórias do sol na abóbada celeste nos diferentes períodos do dia e do ano, projetadas no plano

do observador, para a latitude específica do local a ser estudado. Nas cartas, torna-se possível identificar alturas solares – ângulo formado pelo sol e pelo plano horizontal da direção dos raios solares – e azimutes – ângulos formados pela projeção horizontal do raio solar com uma direção estabelecida - permitindo a localização de qualquer posição do sol na abóbada celeste. A trajetória visível do sol varia conforme a época do ano e a latitude do local de observação, gerando diagramas com curvas de percursos solares diferentes de região para região.

FIGURA 3 – DIAGRAMA SOLAR PARA A CIDADE DE CURITIBA



Fonte: Pesquisa

Nas cartas, conforme Olgyay e Olgyay (1957), a linha do horizonte aparece como um círculo que apresenta em seu interior curvas (projeções estereográficas) representando as trajetórias solares nas datas marcadas, com linhas transversais simbolizando as horas. Os círculos concêntricos e as retas partindo do centro da circunferência informam a altura solar e o azimute para qualquer horário desejado.

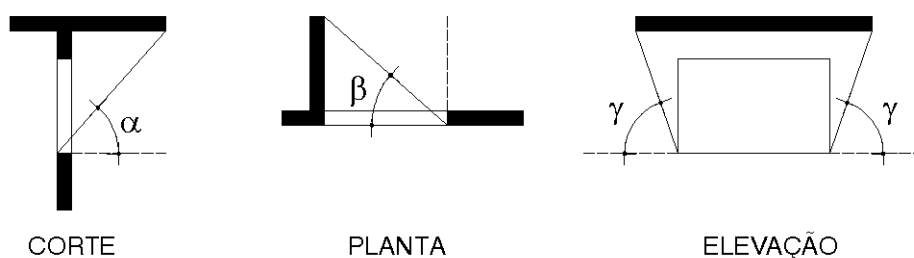
Na carta solar da cidade de Curitiba (Figura 3), percebe-se que uma fachada voltada para o Norte é extremamente privilegiada pelo sol ao longo do ano, fato comum às localidades situadas no hemisfério Sul do planeta. Assim, construções com face para o Sul não recebem incidência solar direta durante boa parte do ano,

ficando sujeitas às condições de luz provenientes da abóbada celeste e podendo apresentar níveis de luz mais baixos se comparados com as outras orientações, porém mais uniformes.

Sobre os diagramas, podem ser marcados dias ou horários que necessitam de proteção solar e, por meio da máscara de sombras, também os próprios dispositivos que garantirão esta proteção. Segundo Bittencourt (2000), a máscara de sombras é uma representação gráfica, aplicada sobre as cartas solares, das partes da abóbada celeste obstruídas por barreiras ou obstáculos que impedem a visão direta desta abóbada por parte de um observador localizado em um determinado ponto. Desta forma, é possível utilizar máscaras de sombras para o traçado de dispositivos de proteção solar que resultem na obstrução ou na visão da abóbada celeste – e conseqüentemente na incidência solar direta – de acordo com datas e horários previamente analisados. Para o traçado das máscaras sobre as cartas solares, deve-se verificar o tipo de insolação da fachada e identificar os pontos críticos para definir o tipo de proteção mais adequado às necessidades.

O dimensionamento das proteções está relacionado à leitura, nas cartas solares, de determinados ângulos (α , β e γ) formados pelas máscaras de sombra, que representam os ângulos existentes entre a construção e as extremidades dos dispositivos de sombreamento, como pode ser visto na Figura 4.

FIGURA 4 – ÂNGULOS PARA DIMENSIONAMENTO DAS PROTEÇÕES



Fonte: Pesquisa

Os conceitos e procedimentos acima descritos foram utilizados para o desenvolvimento da pesquisa, como pode ser visto na metodologia do trabalho, descrita no capítulo seguinte.

4 METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS

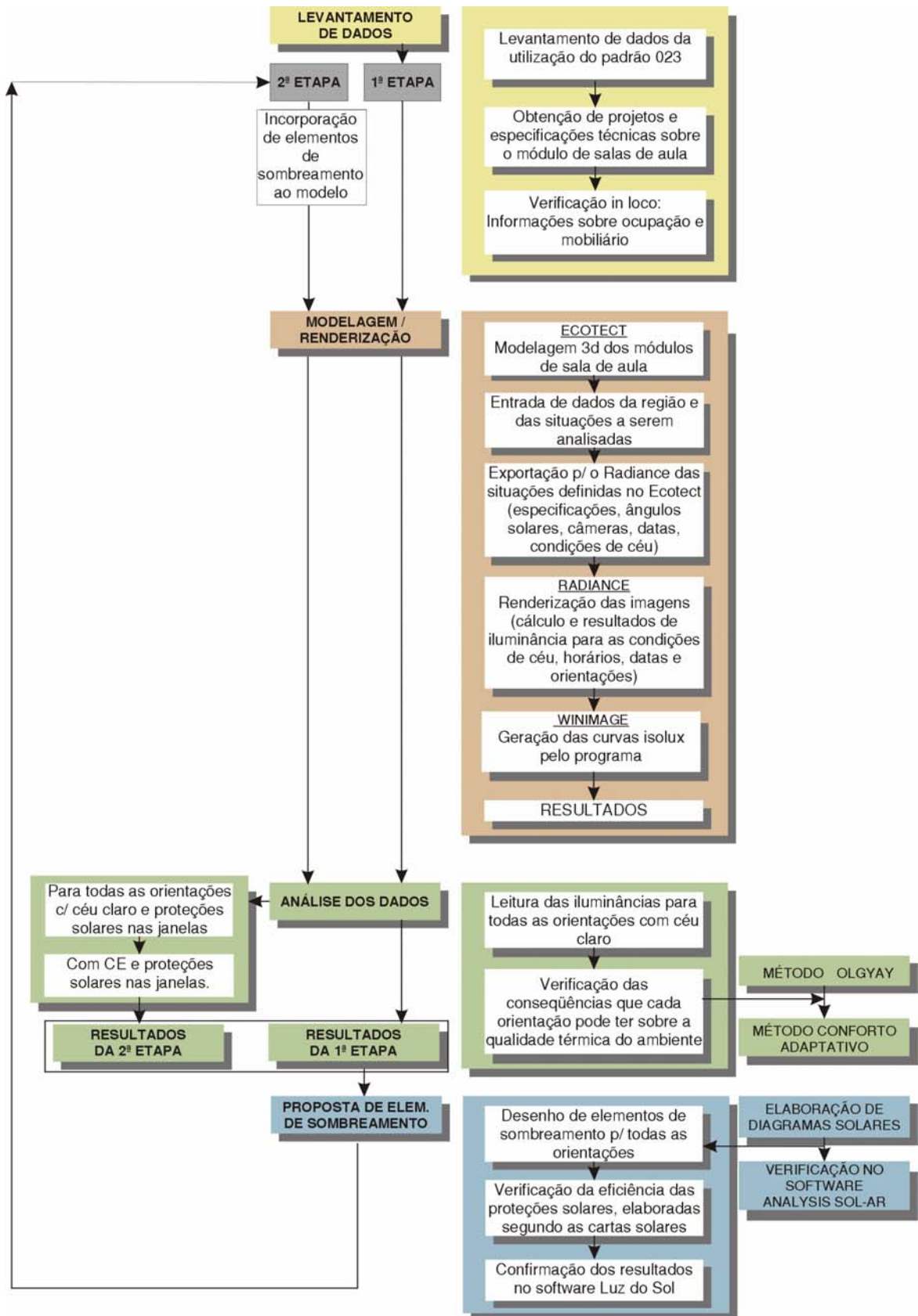
A pesquisa caracteriza-se como experimental, de cunho quantitativo e abordou a avaliação da qualidade do espaço físico de salas de aula no que tange ao aproveitamento da luz natural para diferentes orientações solares, considerando o uso específico destinado para o ambiente. A parte experimental baseou-se em simulações computacionais realizadas em programas específicos, a partir de um objeto de estudo e adotando-se diferentes configurações de implantação e sombreamento, uma vez que a construção de um modelo virtual com as mesmas características da edificação original permite uma amplitude maior de situações de análise, face às possibilidades de se combinar orientações do edifício, datas e horários para diferentes combinações de condições reais.

A natureza do objetivo traçado direcionou a seleção e a escolha das ferramentas a serem utilizadas. Desta forma, foram empregados softwares conceituados e de eficiência reconhecida, presentes em pesquisas como as de Ward (1990), Roriz (1995) e Suga (2005), que permitiram o desenvolvimento de um procedimento integrado que agregou as qualidades de cada um de forma complementar.

Para uma possível qualificação das melhores situações para implantação da edificação, baseada na análise de todas as combinações data-hora-orientação, adotou-se o critério de considerar as condições das salas com orientações solares opostas, em conjunto. Isto se deve ao fato de que, devido às características da planta (com salas parcialmente “espelhadas” e separadas por um corredor central), níveis bons de iluminação em uma sala não necessariamente significam níveis similares na sala com janelas voltadas para a orientação oposta.

Sendo assim, passa-se a trabalhar com orientações do eixo da construção e não com orientações de cada sala isoladamente. Uma vez que cada orientação do eixo determina condições distintas, o ambiente térmico igualmente pode sofrer variações. Os níveis de iluminação então foram verificados também com a inserção de dispositivos de sombreamento nas janelas, especificados segundo o método de Olgyay e Olgyay (1957), que considera os ganhos solares diretos para datas e horários que apresentam faixas de temperatura acima do recomendado. Os procedimentos da pesquisa podem ser observados no fluxograma da Figura 5.

FIGURA 5 – FLUXOGRAMA DA PESQUISA



Fonte: Pesquisa

4.1 CARACTERÍSTICAS DO OBJETO DE ESTUDO

O modelo pesquisado – denominado projeto padrão 023 – é bastante utilizado na rede pública de ensino do estado do Paraná e representa uma disposição muito comum em projetos de salas de aula, com ambientes voltados para orientações opostas, separados por um corredor central.

Seguindo esta configuração, o módulo de salas de aula do projeto 023 analisado apresenta uma circulação central (Figura 6) e duas salas de aula de cada lado. Dessa forma, os módulos podem ser agrupados um após o outro para atender à quantidade de salas de aula necessárias.

FIGURA 6 – DETALHE DO CORREDOR CENTRAL



Fonte: Pesquisa

Para as simulações, considerou-se a edificação de somente um pavimento, com quatro salas de aula, duas de cada lado de um corredor central que apresenta pé-direito de aproximadamente 6m de altura, contendo duas aberturas zenitais para ventilação e iluminação, cada uma com um vão de 1,60m por 1,60m e cobertas com chapa de policarbonato alveolar incolor cristal. Esta circulação possui forro em madeira e revestimento cerâmico no piso e nas paredes até aproximadamente 2m, com o restante da parede recebendo pintura em tinta acrílica de cor clara.

As salas possuem 7m de largura por 7,10m de profundidade e pé-direito com 3,05m, sendo espelhadas em relação ao eixo do corredor. Os layouts internos e as

portas de acesso, porém, não são espelhados, pois a parede que abriga o quadro negro de uma sala em um lado do corredor é equivalente à parede de fundos da sala do outro lado.

Sendo assim, pôde-se prever que os resultados seriam diferentes para as salas com orientações opostas, considerando que a forma de análise estaria relacionada com a distribuição de carteiras nas áreas bem ou mal iluminadas. Neste caso, a determinação de posições mais adequadas para a construção poderia levar em conta a maior contagem de planos de trabalho com boa iluminação, associada com o equilíbrio entre as salas – quantidades próximas para ambientes com orientações opostas.

Encontrou-se duas disposições de layout na escola visitada (Figura 7), uma com fileiras colocadas ortogonalmente e outra uma distribuição de forma circular. Adotou-se no modelo o primeiro layout, mais comum, e com o número de carteiras igual ao verificado *in loco*: 42 carteiras dispostas em 6 linhas com 7 móveis em cada uma. Cada tampo de trabalho possui dimensões de 60 x 42 cm, com 75 cm de altura do piso, sendo revestidos com fórmica de cor clara.

FIGURA 7 – VARIAÇÕES DOS LAYOUTS DAS SALAS DE AULA



Fonte: Pesquisa

Cada ambiente apresenta 02 janelas de dimensões 3,40m x 1,50m (largura x altura) com esquadrias de ferro e vidros basculantes (Figura 8), voltadas para o exterior e duas faixas horizontais de blocos de tijolos de vidro na parte superior da parede adjacente à circulação, que captam parte da iluminação das zenitais.

As paredes são em alvenaria, pintadas internamente de branco ou com cores

claras, o teto em laje é pintado de branco e os pisos recebem revestimento cerâmico, também em cores claras. Para as análises, foram usados os índices de refletividade padrão desses materiais, encontrados no programa Ecotect, em Vianna e Gonçalves (2004) e em Castro et al (2003).

FIGURA 8 – DETALHE DAS JANELAS DAS SALAS DE AULA

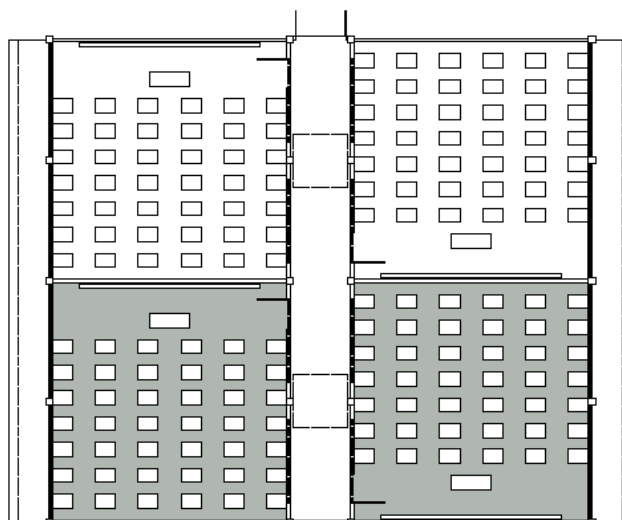


Fonte: Pesquisa

Relacionando as informações, tem-se que a sala possui $49,70\text{m}^2$ de área interna e as paredes laterais $21,66\text{m}^2$ cada. Os vãos das janelas nas paredes externas ocupam $10,20\text{m}^2$ ($2 * 5,10\text{m}^2$), com uma área efetiva de vidros (descontando-se a esquadria) de $8,72\text{m}^2$ ($2 * 4,36\text{m}^2$), o que significa uma relação entre área de janelas e piso de $1 / 5,7$ ou $0,18$ e uma taxa WWR (*Window to Wall Ratio*) de $0,40$.

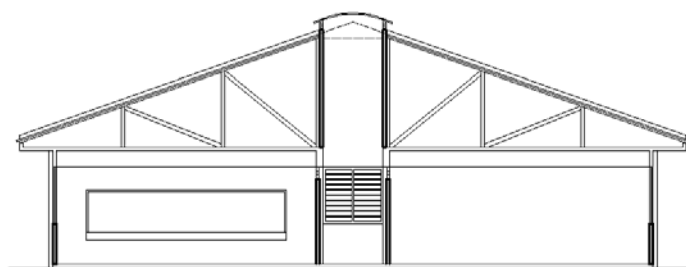
Devido à simetria da planta (com quatro salas de aula), as análises se concentraram em duas salas de aula, localizadas lado a lado, mas opostas e separadas pelo corredor (Figura 9), uma vez que os resultados seriam aplicáveis também às outras salas.

FIGURA 9 – PLANTA BAIXA DO MÓDULO DE SALAS DE AULA



Fonte: Pesquisa

FIGURA 10 – CORTE TRANSVERSAL DO MÓDULO DE SALAS DE AULA



Fonte: Pesquisa

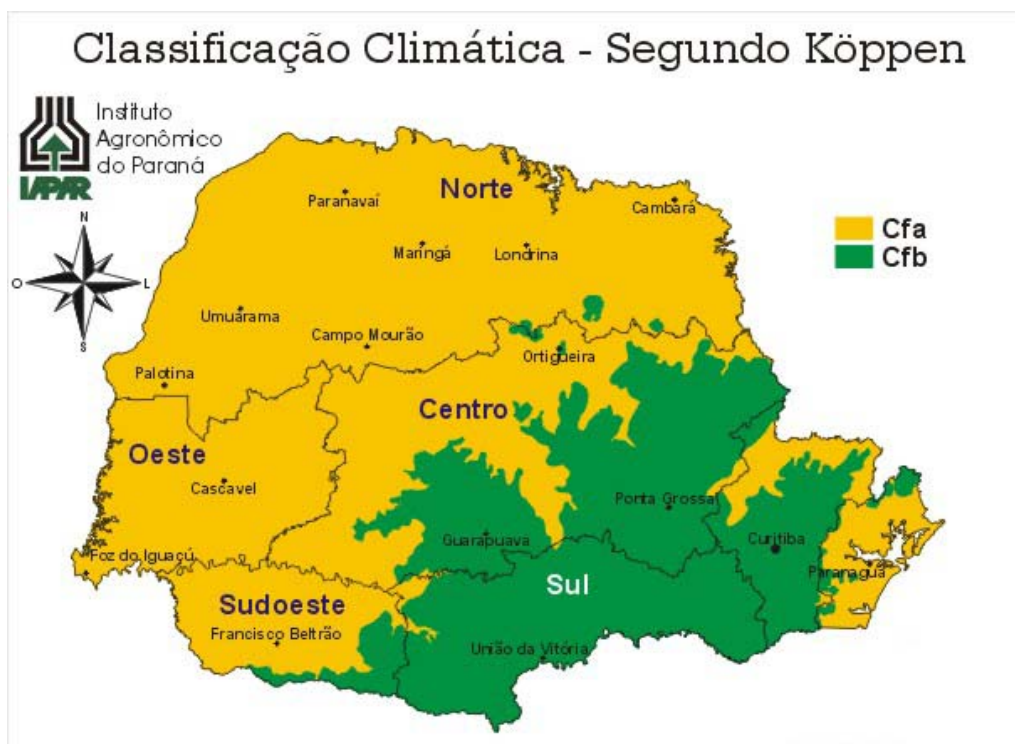
4.2 CARACTERÍSTICAS DA REGIÃO DE ESTUDO

O Paraná possui atualmente uma população de 10.387.378 pessoas, distribuídas em uma área de 199.800 km². Segundo dados do Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR, podem ser identificados no Estado dois tipos climáticos, classificados de acordo com o sistema Köppen (baseado na vegetação, na temperatura e na umidade da região), que são: a) clima subtropical (Cfa), caracterizado por temperatura média no mês mais frio inferior a 18°C e temperatura média no mês mais quente acima de 22°C, com verões quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, contudo sem estação seca definida; e b) clima temperado propriamente dito (Cfb), caracterizado por temperatura média no mês mais frio abaixo de 18°C, com verões

frescos, temperatura média no mês mais quente abaixo de 22°C e sem estação seca definida. Suas respectivas áreas de abrangência podem ser vistas no mapa da Figura 10.

Os extremos Norte e Sul do Paraná apresentam pequena variação de latitudes, com a maior parte da região se situando entre as latitudes 23°S e 26°S, o que significa que as conclusões referentes a níveis de iluminação natural podem ser extensíveis a todo o Estado.

FIGURA 11 – CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DO ESTADO DO PARANÁ



Fonte: Instituto Agrônomo do Paraná - IAPAR (2006)

Optou-se pelo projeto padrão 023 da rede pública de ensino após uma confirmação, junto aos órgãos responsáveis, de sua relevância e de sua atual utilização. Conforme levantado por Loro (2003), esse projeto foi elaborado em 2000 pela equipe técnica da FUNDEPAR, cujos dados indicam que somente no período 2000-2005 essa mesma tipologia foi utilizada em 78 escolas, distribuídas em 35 diferentes municípios do Paraná (Tabela 1) e que continua sendo usada atualmente.

Os municípios que receberam escolas construídas com o projeto padrão 023 da FUNDEPAR podem ser melhor visualizados no mapa apresentado na Figura 11,

em que se percebe que as escolas são implantadas em localidades diversas, distribuídas por toda a região do Estado.

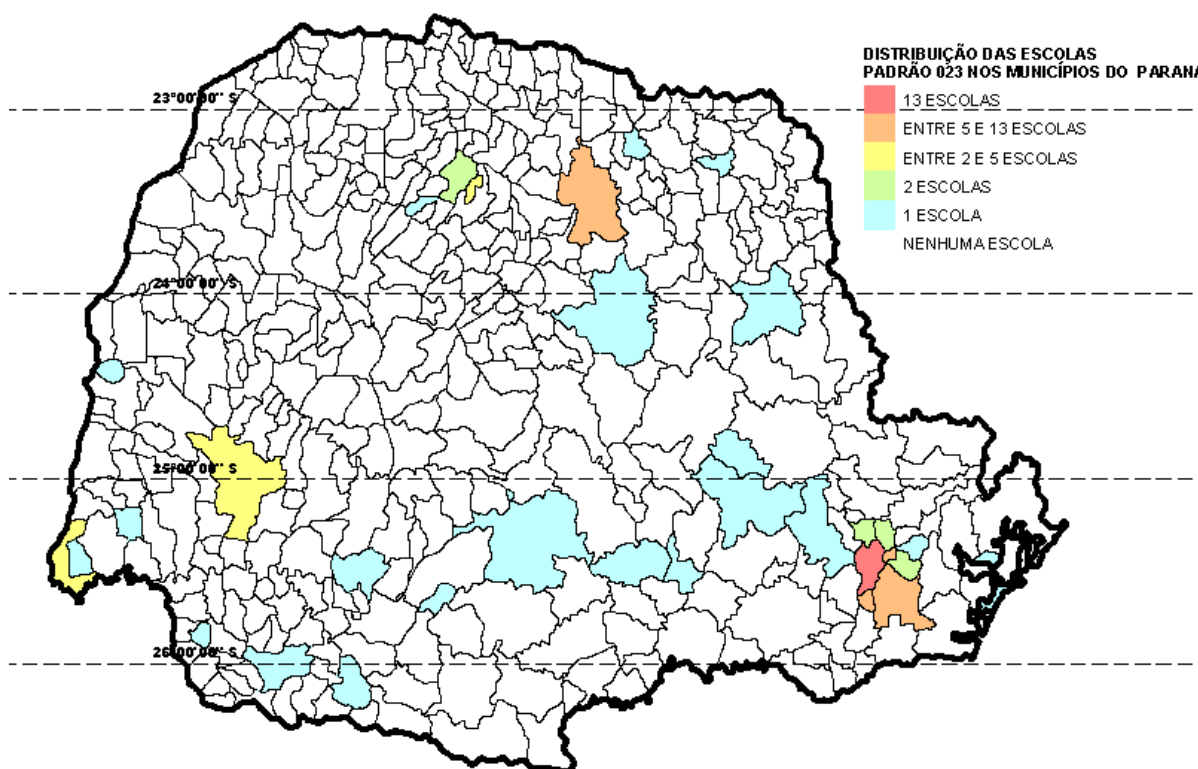
TABELA 1 – DISTRIBUIÇÃO DAS ESCOLAS CONSTRUÍDAS COM O PROJETO PADRÃO 023 NO ESTADO DO PARANÁ DESDE O ANO 2000

MUNICÍPIO (PR)	QUANTIDADE DE ESCOLAS CONSTRUÍDAS COM O PADRÃO 023 - FUNDEPAR
ABATIÁ	1
ALMIRANTE TAMANDARÉ	2
ARAPOTI	1
BELA VISTA DA CAROBA	1
CAMPO LARGO	1
CARAMBEÍ	1
CASCADEL	3
COLOMBO	2
CURITIBA	13
DOUTOR CAMARGO	1
FAZENDA RIO GRANDE	6
FERNANDES PINHEIRO	1
FOZ DO IGUAÇU	3
FOZ DO JORDÃO	1
FRANCISCO BELTRÃO	1
GUARAPUAVA	1
IRATI	1
LONDRINA	6
MARINGÁ	2
MEDIANEIRA	1
MERCEDES	1
ORTIGUEIRA	1
PARANAGUÁ	1
PATO BRANCO	1
PINHAIS	6
PIRAQUARA	2
PONTA GROSSA	1
PONTAL DO PARANÁ	1
QUATRO BARRAS	1
RIO BONITO DO IGUAÇU	1
RONCADOR	1
SANTA TEREZINHA DE ITAIPU	1
SAO JOSÉ DOS PINHAIS	6
SARANDI	4
URAI	1
TOTAL NO ESTADO	78
TOTAL CURITIBA E REGIÃO METROPOLITANA	39

Fonte: Instituto de Desenvolvimento Educacional do Paraná (FUNDEPAR) e Companhia de Informática do Paraná (CELEPAR)

Esta diversidade regional pode significar variações climáticas capazes de influenciar o desempenho térmico das construções de maneira diferente de local para local sem, no entanto, produzir alterações no desempenho luminoso, face à pequena variação na faixa de latitudes em que o Paraná se encontra (aproximadamente 3°).

FIGURA 12 – MAPA DO PARANÁ COM A DISTRIBUIÇÃO DAS ESCOLAS CONSTRUÍDAS COM O PROJETO PADRÃO 023



Fonte: Pesquisa

Notou-se que, embora o projeto 023 seja utilizado em diversos municípios do Estado, 39 das 78 escolas se encontram em Curitiba e região metropolitana. Destas, 13 unidades se encontram somente em Curitiba, caracterizando-a como a localidade que possui mais escolas construídas com esta tipologia. Isto determinou a adoção da cidade nos procedimentos relativos aos efeitos térmicos produzidos pelos ganhos solares diretos das salas de aula.

De acordo com o Projeto de Normatização em Conforto Ambiental (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003), a cidade de Curitiba

se encontra na Zona Bioclimática 1, cujas diretrizes construtivas são aberturas médias para ventilação e sombreamento das aberturas de modo a permitir a incidência de sol durante o período frio, atendendo à necessidade de aquecimento solar da edificação no inverno.

Segundo Dumke (2002), o aquecimento solar passivo pode ser obtido por intermédio do acesso da radiação solar direta ao interior da edificação pelas aberturas. Como materiais transparentes não permitem a passagem da radiação de onda longa (calor emitido pelos materiais aquecidos), o calor fica retido, superaquecendo o ambiente.

Este efeito, embora desejável no inverno, deve ser evitado em períodos quentes (verão), em que as temperaturas externas já se apresentam superiores a temperaturas adequadas para conforto. A concentração e a retenção do calor no interior de edificações pode agravar este efeito, elevando consideravelmente as condições térmicas em um espaço fechado. Daí a necessidade do correto dimensionamento de dispositivos de proteção solar, capazes de controlar a entrada ou o bloqueio da radiação solar, conforme o período do ano.

4.3 FERRAMENTAS E MÉTODOS

De acordo com Garde (2006), os programas para cálculos de iluminação atualmente possibilitam uma segurança sem precedentes, permitindo cálculos precisos da quantidade de luz em planos horizontais e verticais, servindo de base para o atendimento de níveis necessários para o desempenho de tarefas específicas e para verificar se um espaço está sendo devidamente valorizado pela luz com muito mais acuidade.

As verificações das condições de iluminação natural na pesquisa foram feitas exclusivamente por meio de simulações elaboradas em softwares de reconhecida eficiência. Para tal fim, foram utilizados predominantemente os softwares Ecotect e Radiance, especificamente para a construção de um modelo computacional das salas de aula analisadas e para a simulação das datas (21 de junho e 21 de dezembro), horários (9, 12 e 15 horas) e orientações solares do eixo da construção (Norte-Sul, Leste-Oeste, Nordeste-Sudoeste e Noroeste-Sudeste) relativas à posição geográfica solicitada (Curitiba, latitude 25°25'48" S e longitude 49°16'15" W). Os softwares Luz do Sol e Analysis Sol-Ar foram utilizados de maneira

complementar, para verificação e comparação de dados obtidos em outras fontes, conforme explicado mais adiante.

4.3.1 Ecotect

Para a montagem do modelo, a entrada de dados físicos e a obtenção de dados climáticos foi utilizada a versão 5.20 do Ecotect, software desenvolvido a partir de estudos do Dr. Andrew Marsh, da *Escola de Arquitetura e Belas Artes da Universidade da Austrália Ocidental*, em 1997.

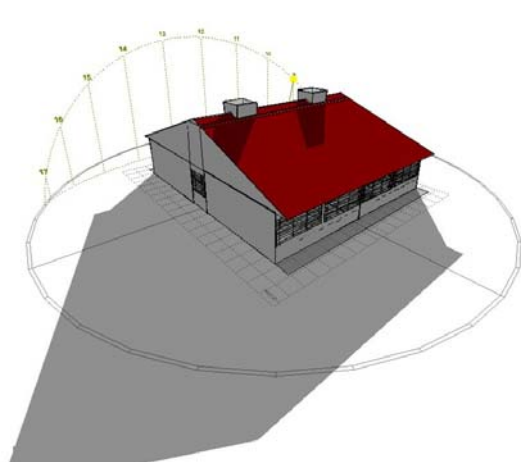
Nascido de um trabalho cujo objetivo principal era criar uma ferramenta que auxiliasse os projetistas a verificar o desempenho ambiental das construções ainda em fase de projeto, este programa apresenta uma interface de modelagem 3D, integrada com funções de simulação e análise, capazes de fornecer dados precisos para avaliações das condições térmicas, acústicas, de ventilação ou iluminação de edificações.

Proporcionando simulações de iluminação natural, o Ecotect permite que se trabalhe com duas situações distintas, céu encoberto e céu claro (uniforme). A interação com o programa Radiance oferece outras alternativas relativas a condições celestes, como céu claro sem sol (*sunny without sun*) ou céu claro com sol (*sunny with sun*).

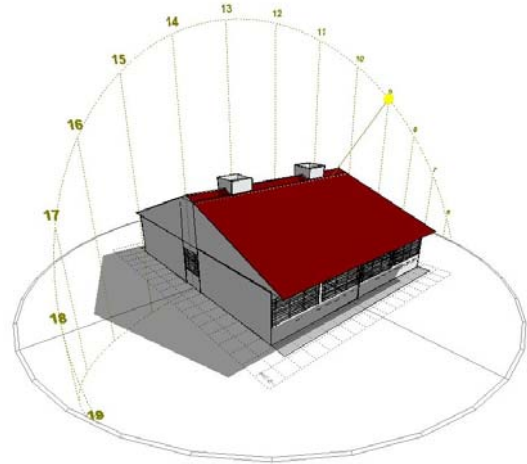
Inserindo-se câmeras virtuais e definindo-se os alvos, podem ser produzidas imagens de quaisquer ângulos que se tenha interesse, internas ou externas, que posteriormente podem ser exportadas para outros softwares de análise. Fornecendo as trajetórias e alturas solares referentes às coordenadas geográficas do local determinado, torna-se possível obter, entre outras, as condições de luz e sombra para cada hora e orientação desejadas, como demonstram as ilustrações da Figura 13, geradas com janelas voltadas para Norte e Sul em três horários distintos dos solstícios de inverno e de verão.

Uma vez que o Ecotect se dispõe a analisar o edifício sob os diferentes aspectos de seu desempenho (térmico, luminoso, acústico), seus recursos possibilitam a entrada de uma grande variedade de informações e especificações relativas à construção ou às características do meio.

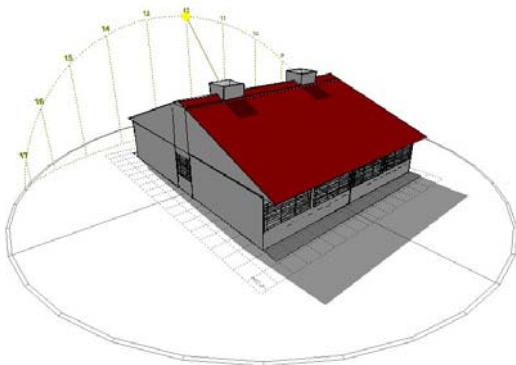
FIGURA 13 – SIMULAÇÕES DO SOFTWARE ECOTECT PARA O MÓDULO DE SALAS DE AULA, EM DIFERENTES DATAS E HORÁRIOS



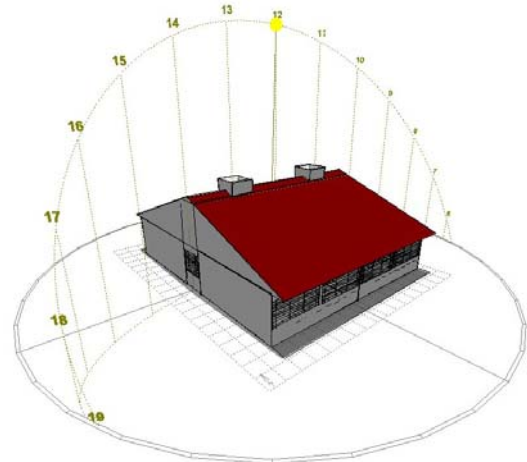
21 de junho, às 9:00 horas.



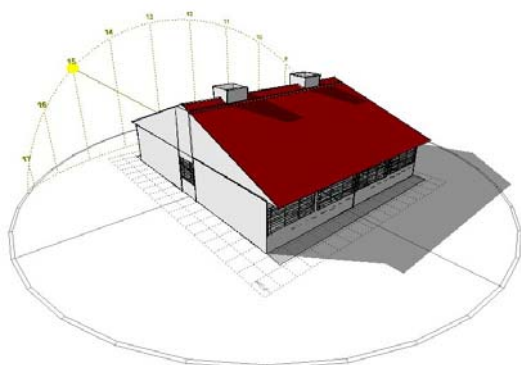
21 de dezembro, às 9:00 horas.



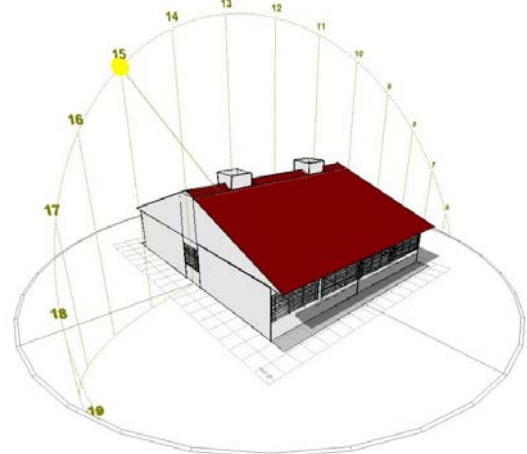
21 de junho, às 12:00 horas.



21 de dezembro, às 12:00 horas.



21 de junho, às 15:00 horas.
Fonte: Pesquisa



21 de dezembro, às 15:00 horas.

Basicamente, o procedimento consiste na construção do modelo a ser analisado, por meio de elementos da edificação (*Zone Objects*), como paredes, tetos, pisos e coberturas, desenhados por eixos de coordenadas X, Y e Z. A estes elementos podem ser atribuídos aspectos referentes a cores, materiais ou revestimentos, entre outros, e características físicas de cada um (transmitância, refletância etc.), pré-definidas segundo valores padrão constantes em um banco de dados do próprio software.

Com o modelo computacional construído, definem-se vistas com a inserção de *câmeras*. Estas *câmeras*, aliadas às configurações climáticas definidas pelo usuário, geram imagens para serem analisadas no próprio software ou para serem exportadas e analisadas em outros programas.

A interface que o Ecotect possui com diferentes programas de análise, como o Radiance, o Energy Plus e o Pov-Ray, permite a troca de dados entre os ambientes para a obtenção de cálculos cada vez mais específicos e apurados.

Desta forma, após a entrada de todas as informações necessárias para as verificações, o modelo e todas as especificações relativas a cada situação foram exportados para o Radiance, software voltado para estudos de iluminação, capaz de fornecer resultados precisos sobre as condições de luz de um espaço.

4.3.2 Radiance

Dentre os softwares voltados para renderização⁴ e análise dos aspectos da iluminação, o Radiance é hoje um dos que apresentam maior acuidade de cálculo, conforme Garde (2006).

Começou a ser desenvolvido há mais de 20 anos pelo *Building Technologies Department, Environmental Energy Technologies Division, Berkeley Lab*, financiado primeiramente pelo governo dos Estados Unidos e posteriormente pelo governo suíço, tornando-se uma ferramenta que trabalha juntamente com softwares CAD – de desenho e modelagem – e que possibilita a reprodução de situações reais e leituras relativas às condições dos sistemas de iluminação natural ou artificial existentes ou propostas para um espaço, permitindo o conhecimento da eficiência desses sistemas.

⁴ Renderização – termo aplicado para as diversas formas e metodologias de cálculo de texturas, sombras e cores em uma imagem vetorial.

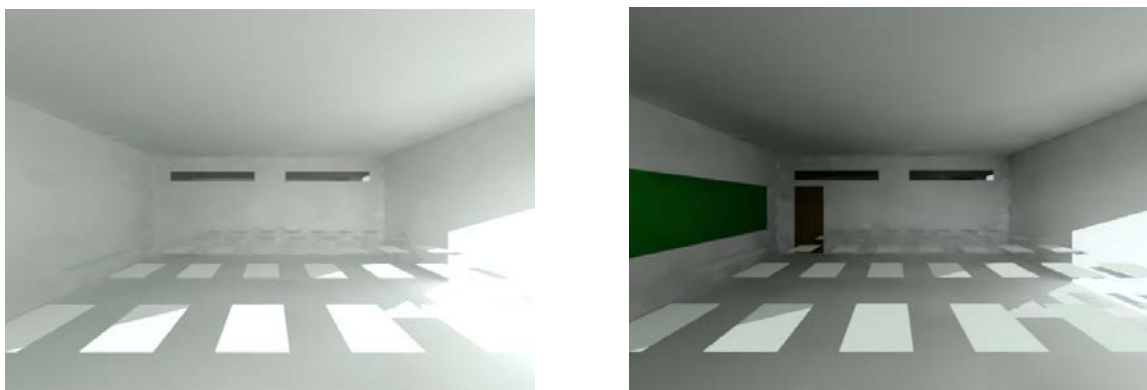
Os resultados obtidos são demonstrados por imagens renderizadas, com os dados analíticos referentes aos parâmetros, propriedades e variáveis previamente definidos. Utilizado em conjunto com o Ecotect, o Radiance incorpora dados do primeiro programa, como alturas e posições solares, orientações e dimensões de aberturas, dias e horários escolhidos para simulação, fornecendo uma leitura capaz de reproduzir a situação real. Na pesquisa, foi usado o Desktop Radiance 1.02, versão capaz de rodar sobre a plataforma do Microsoft Windows XP.

Dentre suas principais capacidades estão, conforme Suga (2005):

- assegurar com precisão um cálculo das luminâncias e iluminâncias de qualquer ambiente;
- simular as condições de luz artificial e luz natural;
- considerar ampla gama de refletância de materiais;
- suportar geometrias complexas;
- proporcionar interface com sistemas CAD.

Optou-se por realizar as análises especificamente sobre as condições de iluminância encontradas nas salas de aula, embora o software permita também outras simulações como, por exemplo, a obtenção de imagens referentes às luminâncias – reflexão dos raios luminosos por uma determinada superfície - dos ambientes ou de representações da visão humana (Figura 14).

FIGURA 14 – À ESQUERDA, SIMULAÇÃO DO SOFTWARE RADIANCE DAS ILUMINÂNCIAS E À DIREITA DAS LUMINÂNCIAS DA SALA DE AULA, REPRODUZINDO A SENSIBILIDADE DA VISÃO HUMANA



Fonte: Pesquisa

Nesse último caso, o software simula a relação entre o nível de luminância e a sensibilidade ao contraste característica da visão humana. Uma comparação entre

as diferentes leituras para o mesmo ambiente pode ser vista nas figuras seguintes.

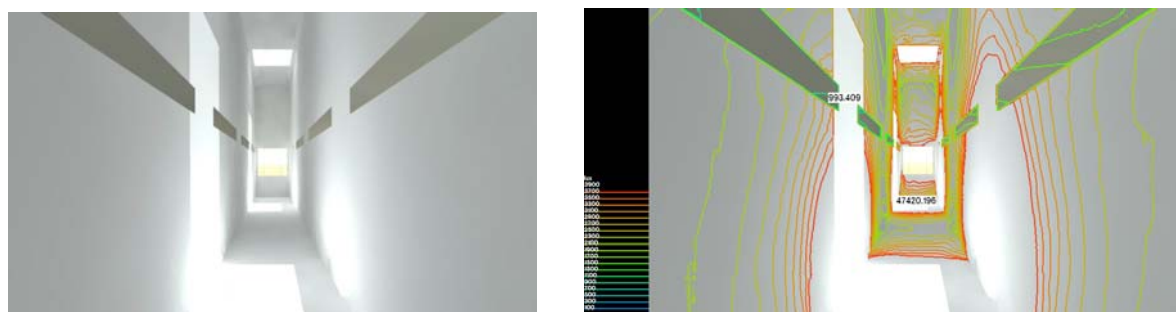
FIGURA 15 – À ESQUERDA, SIMULAÇÃO DAS LUMINÂNCIAS ENCONTRADAS NO CORREDOR E À DIREITA UMA REPRODUÇÃO DA VISÃO HUMANA DO MESMO ESPAÇO



Fonte: Pesquisa

Assim, consegue-se imagens de quaisquer ambientes, sob as condições e os critérios de análise desejados. Nas Figuras 15 e 16, vêem-se diferentes possibilidades de avaliação, referentes ao corredor central do módulo estudado, às 12:00 horas do dia 21 de dezembro.

FIGURA 16 – À ESQUERDA, SIMULAÇÃO DAS ILUMINÂNCIAS PARA A MESMA SITUAÇÃO E À DIREITA A REPRESENTAÇÃO DAS CURVAS ISOLUX PRODUZIDAS



Fonte: Pesquisa

A entrada de dados para a geração das imagens consiste na descrição da geometria das superfícies em 3D, materiais e fontes de luz existentes na cena. A renderização final requer a definição de vistas, direções e ângulos desejados. Para o cálculo das iluminâncias e texturização do espaço foi adotado um *grid* (plano de análise) e *câmeras* (posições visuais) que, assim como os elementos anteriores, foram pré-estabelecidos no Ecotect. Com estes elementos definidos, o

processamento das simulações ocorre usando o processo *Ray Tracing* (basicamente determinando quais superfícies um raio intercepta), que deve ser recalculado para cada câmera ou ponto de análise selecionado.

Entre os procedimentos de cálculo do Radiance, podem ser destacados:

- 1) componente direto, que consiste na luz que chega em uma superfície, vinda diretamente de fontes de luz ou transferidas perfeitamente por outras superfícies;
- 2) componente indireto especular, que consiste na luz que chega em uma superfície, vinda de outras superfícies, e que é refletida ou transmitida para uma direção específica;
- 3) componente indireto difuso, que consiste na luz que chega em uma superfície, sendo refletida ou transmitida sem uma direção definida, o que requer a consideração de inúmeras possibilidades de direção.

Segundo Suga (2005), o Radiance é uma ferramenta que usa uma técnica híbrida ao englobar raios geométricos para determinar a porção de superfícies visíveis de pontos amostrados. Os níveis de luz no ambiente são então calculados por pontos através da interpolação entre pontos de amostra.

Um processo paralelo de cálculo, que considera a luz proveniente de janelas ou aberturas de forma distribuída nos ambientes estudados, contribui bastante para a eficiência e a precisão dos cálculos e renderizações finais do Radiance.

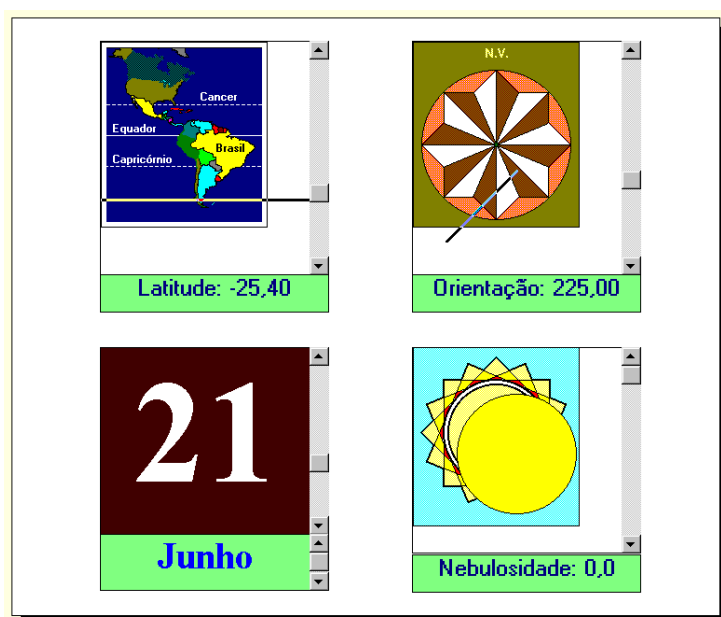
4.3.3 Analysis Sol-Ar

O Sol-Ar é um programa gráfico desenvolvido pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações – LABEEE, da Universidade Federal de Santa Catarina, capaz de gerar cartas solares para latitudes específicas.

O software é capaz de fornecer, também, intervalos de temperatura anuais correspondentes às trajetórias solares ao longo do ano e do dia, bem como informações sobre velocidades médias e frequência de ocorrência dos ventos para determinadas localidades. Entre as cidades que possuem coordenadas de localização na base de dados do software, encontram-se São Paulo, Florianópolis e Curitiba, entre outras.

O Sol-Ar disponibiliza uma ferramenta similar a um *transferidor*, que aliada às gradações do diagrama solar gerado, permite a leitura de ângulos de incidência horizontais e alturas solares, para o projeto de proteções solares (Figura 17).

FIGURA 18 – ENTRADA DE DADOS – SOFTWARE LUZ DO SOL



Fonte: Software Luz do Sol

4.3.5 Método proposto por Olgyay e Olgyay

O método proposto por Olgyay e Olgyay (1957) consiste na avaliação da necessidade e na determinação de dispositivos de sombreamento, segundo a identificação de períodos do ano onde a ocorrência de valores da temperatura externa acima de uma temperatura de referência para conforto sugere como consequência um aumento indesejável da temperatura interna em razão de incidência solar direta.

Durante os períodos frios do ano o calor proporcionado pelo sol é desejável para o aquecimento do meio em que o ser humano se encontra, ao passo que em períodos de calor o sombreamento proporcionado por elementos naturais ou construídos é necessário para que se consiga condições de conforto. Para a identificação dos períodos em que deve haver proteções solares, parte-se de um cálculo para a determinação da temperatura que funcionará como a linha divisória entre os períodos de frio e calor. Dessa forma, condições em que ocorram temperaturas que se sejam superiores a esse limite significarão calor excessivo e precisarão de intervenções que resultem em proteções solares.

Olgyay e Olgyay (1957) adotam a temperatura de 70°F como limite máximo de conforto. Como esse valor se baseou em condições térmicas da América do

Norte - em torno de 40° de latitude Norte – são recomendadas correções para locais com latitudes mais baixas, onde se encontram médias térmicas maiores: para cada 5° de latitude ao sul, a temperatura limite deve ser elevada em 3/4°F.

Para a definição dos períodos em que se precisa de sombreamento, devem ser utilizados dados referentes às médias mensais das temperaturas horárias da região estudada ao longo de um ano. Podem ser adotadas médias de hora em hora ou de duas em duas horas para cada um dos doze meses. Os horários dos meses que apresentarem valores superiores à temperatura limite representarão os períodos que necessitam de proteção solar.

O desenho dos dispositivos de proteção pode ser feito utilizando-se um diagrama solar, onde estão marcadas as posições e alturas solares relativas à região em estudo. O diagrama é usado como uma base em que as linhas de horas e meses servem como coordenadas para a transferência do período de temperaturas elevadas. Nesta representação gráfica, a mesma trajetória solar pode representar duas datas distintas em que o sol faz o mesmo “caminho” durante o ano. Assim sendo, a área marcada com temperaturas elevadas pode também coincidir com datas onde a proteção solar é desnecessária.

Conhecendo-se a área gráfica que precisa ser protegida, podem ser traçadas, sobre este mesmo diagrama, projeções de superfícies capazes de barrar os raios solares nos períodos desejados. A sobreposição destas projeções nas faixas demarcadas configura máscaras de sombras, cuja leitura determina a espécie e o dimensionamento dos elementos de proteção e quando o sol está sendo interceptado por eles. A máscara deve tomar o cuidado de cobrir o período desejado, a fim de não prejudicar os dias e horários em que o sol é bem-vindo (dias frios), estabelecendo uma relação que define a eficiência do sombreamento.

Os parâmetros para o desenho das proteções solares, sua forma e suas dimensões são obtidos no diagrama por meio da identificação e leitura direta dos ângulos α , β e γ , referentes aos ângulos que os dispositivos devem formar com a construção, com a posição e altura solares relativas aos horários em que se deseja maiores cuidados. A aplicação destes ângulos resulta em elementos (como brises) horizontais, verticais ou inclinados capazes de controlar a incidência solar nos dias e horários em que haja necessidade.

Os limites térmicos adotados podem ser confrontados com as temperaturas

locais encontradas ao longo de um ano modelo TRY (*Test Reference Year*), que consiste de um ano típico representativo de um determinado lugar geográfico baseado em um período de no mínimo 10 anos consecutivos de séries de dados climáticos.

Goulart et al. (1998) apontam que um dos objetivos do ano climático de referência – TRY é fornecer informações climáticas para o cálculo de energia, passíveis de serem usadas inclusive para a simulação de construções, visando à melhoria térmica dos futuros edifícios.

O TRY gerado para Curitiba tem base numa série de dados climáticos coletados entre 1960-1970, representados em doze tabelas, referentes aos meses do ano, cada qual com valores individuais de temperatura para cada hora de todos os dias do mês referido.

A existência de uma única temperatura de conforto, como a proposta por Olgay e Olgay (1957), pressupõe que locais distintos, em uma mesma faixa de latitude, possuem características climáticas – principalmente térmicas - semelhantes, algo que nem sempre é verdade. Surge a necessidade de se levar em conta as condições de clima apresentadas pelo local em que a obra está inserida, como é feito pelo ACS (*Adaptive Comfort Standard*) ou método de Conforto Adaptativo. Este procedimento considera que conforto é função direta da temperatura média local, variando, portanto, conforme as variações desta mesma média.

Segundo De Dear e Brager (2002), os procedimentos do ACS começaram a ser contemplados a partir de 2001, por revisões da *ASHRAE Standard 55 – thermal environmental conditions for human occupancy*, cujo propósito é especificar combinações do ambiente interno e fatores pessoais que produzirão condições ambientais térmicas aceitáveis para 80% ou mais do número de ocupantes de um espaço.

Considerando que as condições de conforto estão relacionadas com o contexto, a relevância do método de Conforto Adaptativo se justifica no fato de utilizar variáveis térmicas do ambiente externo como dados de cálculo. De Dear e Brager (2002) entendem que o clima e as estações têm grande influência no comportamento e na capacidade de adaptação – física e psicológica - do ser humano ao ambiente térmico que o circunda.

A temperatura ideal de conforto (*optimum comfort temperature*) leva em conta

a temperatura externa média do ar durante o período de interesse (normalmente a média mensal), por meio da fórmula:

$$T_{conf} = 0,31 * T_{média\ ext} + 17,8$$

Baseado no valor obtido, a zona de conforto pode ter uma variação de até 5°C para 90% de aceitabilidade e até 7°C para 80% (ASHRAE *Standard 55*), com valor central igual à temperatura de conforto calculada.

Destaca-se o uso destas previsões de temperaturas de conforto em ferramentas de simulação, pois a identificação de condições térmicas não favoráveis possibilita modificações ainda em projeto e repetições do processo até que se atinjam resultados satisfatórios. Assim, podem ser mensuradas as possibilidades do uso da ventilação natural e do potencial de economia energética que isto pode resultar, entre outros.

4.4 DEFINIÇÕES E DESENVOLVIMENTO

Partiu-se de uma verificação, junto aos órgãos competentes, para confirmação da utilização e da relevância do projeto padrão 023.

Comprovada a continuidade do uso do projeto, deu-se prosseguimento às consultas junto ao Instituto de Desenvolvimento Educacional - FUNDEPAR para obtenção das informações técnicas necessárias que permitissem a reprodução da tipologia escolhida em meio digital.

Os programas Ecotect e Radiance serviram de base ao trabalho, sendo utilizados para a modelagem das salas de aula, a definição das características físicas e locais e para as análises das situações avaliadas. Ao longo do desenvolvimento do estudo, foram usados também outros softwares, como o Luz do Sol e o Sol-Ar para confirmar informações e acrescentar dados e valores à pesquisa.

De posse dos projetos e especificações referentes às salas de aula do projeto padrão 023, pode-se elaborar o modelo computacional para realização das simulações das iluminâncias apresentadas pelos ambientes. Todas as especificações foram também verificadas *in loco*, em visita realizada em uma escola já implantada e em funcionamento no município de Pinhais.

Nessa ocasião, foram levantados dados relativos à ocupação das salas,

abordando aspectos como layout, diversidade dos móveis, quantidades, dimensões, materiais e demais características do mobiliário utilizado. Dessa forma, todas as características do modelo mantiveram-se fiéis às da construção real, o que justificou que as leituras sobre os valores de iluminância fossem feitas em planos de trabalho situados a 75cm do piso, altura medida nos tampos das carteiras e mesas encontradas no local.

Conforme Egan e Olgyay (apud PIZARRO, 2005), tanto superfícies horizontais quanto verticais podem provocar reflexão excessiva de luz solar e, conseqüentemente, problemas com contrastes e ofuscamentos. Para o caso de ambientes escolares, pode-se aplicar isto para carteiras e quadros negros, cada qual com parâmetros e recomendações distintas. Esta pesquisa se concentra exclusivamente nos planos de trabalho, uma vez que ambos os estudos (para carteiras e quadros) são complexos e diferentes dentro de sua especificidade.

As ferramentas de desenho do Ecotect permitiram o desenho (*menu Draw*) de todos os elementos constituintes da edificação real, com suas dimensões corretas especificadas por coordenadas X, Y, Z e definição de materiais e revestimentos, com suas respectivas propriedades (*Material / Properties*).

Visto que a proposta deste estudo é identificar as condições de iluminação de acordo com a incidência solar em diferentes implantações do projeto para permitir ao projetista o apontamento da orientação mais favorável das salas de aula em condições diversas, as simulações foram feitas considerando-se céu claro, para uma série de horários e datas representativos, que fornecessem dados sobre possíveis situações encontradas durante a utilização das salas.

Foram especificados os dias 21 de junho e 21 de dezembro, relativos aos solstícios de inverno e verão, respectivamente, que permitiram avaliar os ambientes nos dois extremos de exposição solar. Adotou-se três posições solares em cada um desses dias - 9, 12 e 15 horas – para que se obtivessem leituras referentes a períodos de aulas de manhã, de tarde e de ocorrências com sol a pino. Cada uma destas combinações de dias e horários foi então testada com a construção orientada segundo os eixos: Norte-Sul; Leste-Oeste; Nordeste-Sudoeste; e Noroeste-Sudeste.

O edifício visitado tinha eixo das salas orientado no sentido Norte-Sul, com janelas votadas para Leste-Oeste (Anexo 1), estando afastado em aproximadamente 7,50m de outra construção na face oeste e sem construções vizinhas na face Leste,

possuindo cortinas nas janelas para proteção solar. Nas simulações, optou-se por considerar uma edificação sem quaisquer obstruções no entorno e, de início, sem anteparos nas janelas, como cortinas ou brises, para que se obtivessem resultados puros e dados relativos à qualidade física das salas de aula. Para todas as análises, as lâmpadas dos ambientes foram consideradas apagadas, restringindo-se exclusivamente aos valores obtidos com uso de iluminação natural.

As verificações realizadas sem a interferência de elementos externos ao projeto permitem uma comparação igual entre todas as possibilidades de implantação, uma vez que a existência ou não destes elementos, sua distância e localização serão diferentes para cada local, situações que devem ser analisadas em conjunto com os níveis de iluminação encontrados em cada orientação para a definição da melhor posição das salas de aula.

Após a montagem do modelo e a entrada de todos os dados no Ecotect, estas configurações foram exportadas (comando *Export Manager*) para o Radiance, onde as imagens foram renderizadas, calculadas e analisadas, fornecendo os níveis de iluminâncias encontrados sob as condições e aspectos desejados.

No ato da exportação do modelo, uma caixa de diálogo oferece opções relacionadas a condições de céu que devem ser consideradas nas simulações, se o Radiance deve incorporar alturas solares, câmeras e outras especificações do Ecotect, se devem ser simuladas luzes internas ligadas ou desligadas, o tipo de análise a ser feita (luminâncias, iluminâncias ou fator de luz o dia), o número de reflexões internas e o grau de detalhamento das imagens, o que influencia a velocidade de cada verificação feita pelo programa.

Os resultados apresentados pelo Radiance possibilitaram, por meio da representação das curvas isolux, determinar as regiões das salas que apresentaram condições adequadas ou inadequadas de iluminância, tomando-se como referência os valores normatizados, apresentados na seqüência.

Uma vez estabelecidos os parâmetros adequados de iluminância para as atividades exercidas nos ambientes analisados com a conseqüente delimitação de uma faixa de valores recomendados, foram feitas contagens do número de planos de trabalho que se encontravam dentro de cada faixa pré-definida. Os resultados se apresentaram em porcentagens, relativas ao total de carteiras existentes em cada sala (42 carteiras = 100%), mostrando com clareza a quantidade de móveis que

possuem bons níveis de iluminação e a eficiência da construção sob estes aspectos.

As leituras e interpretações das imagens permitiram a identificação das melhores posições para implantação da construção, com condições de céu claro e céu encoberto. Sabendo que a incidência direta de raios luminosos é um dos fatores que influenciam a temperatura interna de um espaço, foram consideradas também as conseqüências que a melhor orientação - em termos de iluminação natural - poderia ter sobre a qualidade térmica das salas analisadas.

Aplicando o método proposto por Olgyay e Olgyay (1957) para a determinação da necessidade de elementos de sombreamento nas aberturas de um ambiente e para o desenho destes elementos, partiu-se da definição de uma temperatura limite de conforto para os usuários. Optou-se por substituir a temperatura limite indicada pelos autores citados pelo valor calculado com o método do Conforto Adaptativo, conforme sugerido por De Dear e Brager (2002), adaptável às variações climáticas locais.

Esta temperatura foi confrontada com médias térmicas que abrangiam o período de um ano representativo da região de estudo. Assim, tornou-se possível saber em que datas e horários encontram-se temperaturas superiores ao limite de conforto, indicando que nestes períodos as proteções solares se fazem necessárias.

Tomando a cidade de Curitiba como modelo para a abordagem térmica, elaborou-se o diagrama solar da cidade, conforme indicado por Bittencourt (2000). O diagrama foi ainda comparado com cartas solares geradas por softwares, como o Analysis Sol-Ar, para certificar sua correção. Sobre esta representação gráfica dos ângulos e alturas solares relativos à latitude especificada, marcou-se a faixa referente aos valores térmicos elevados encontrados.

Pela sobreposição de desenhos, conforme Olgyay e Olgyay (1957) e Frota e Schiffer (2003), puderam ser traçadas máscaras de sombras correspondentes a dispositivos externos (como brises) capazes de proteger as aberturas nos períodos em que houvesse necessidade. A validade das proteções propostas foi verificada no software Luz do Sol, que mostrou que os elementos evitavam a incidência direta exatamente nos horários e datas pré-definidos, confirmando a sua eficácia no auxílio à adequação térmica interna.

Foram feitas novas verificações com brises incorporados às janelas, avaliando as conseqüências que trariam às condições de iluminância dos planos de

trabalho. Novamente se recorreu ao Ecotect para a inserção dos brises, exportando as novas situações para o Radiance.

Foram testadas então as mesmas combinações de dias e horários previamente analisadas, mas agora com proteções solares nas janelas, em céu claro e em céu encoberto – que, no inverno, representaria a pior condição em termos de luz natural – de forma a obter respostas baseadas em três condições - com céu claro sem elementos de sombreamento nas janelas, com céu claro com elementos de sombreamento nas janelas e com céu encoberto com elementos de sombreamento nas janelas - que permitissem traçar o perfil completo das condições de iluminação das salas de aula construídas com o projeto padrão 023.

4.5 PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE

Em um primeiro momento, como forma de testar a metodologia, foram levadas em conta somente orientações da planta com janelas voltadas para Norte-Sul e Leste-Oeste (esta última encontrada na escola visitada). Posteriormente foram verificadas todas as orientações (N-S, E-W, NW-SE e NE-SW). Adotou-se como referência os valores de iluminância constantes na NBR 5413 – *Iluminância de interiores*, com uma tolerância de 30% para mais ou para menos, conforme sugerido pela norma e utilizado por Cabus (1997) em pesquisa sobre distribuição de iluminâncias em ambientes.

Segundo Vianna e Gonçalves (2004), quando a preocupação diz respeito à acuidade visual, o elemento principal a ser considerado é o nível de iluminância. Considera-se que 2000 lux é um valor a partir do qual qualquer incremento do nível de iluminância não traz melhorias significativas para a acuidade visual, estabelecendo-se assim um ponto de saturação.

Entretanto, para salas de aula, a norma NBR 5413 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992) recomenda valores médios em serviço de iluminância de 200, 300 e 500 lux, ficando a critério do projetista a determinação do valor final utilizado, de acordo com as características do local e das tarefas realizadas. Dos três valores, a norma sugere a utilização do valor médio (300 lux) na maioria dos casos. Apesar disso, considerando o ponto limite de saturação citado anteriormente e uma vez que as salas avaliadas podem comportar aulas para crianças e adultos (com diferentes capacidades visuais), optou-se por utilizar como

referência o valor normatizado mais alto, de 500 lux, para as atividades desenvolvidas, considerado então como adequado. Dessa forma, foi possível também estabelecer os limites para determinação de áreas com iluminâncias abaixo e acima do valor adequado. A identificação destas áreas forneceria um perfil das salas com relação à distribuição da iluminação natural e conseqüentemente da uniformidade das iluminâncias na área do ambiente, na altura analisada. De início, estas áreas foram denominadas como insuficientes ou elevadas, conforme os seguintes valores:

insuficientes < 350lux < adequadas < 650lux < elevadas

Conhecidos os valores-limite, as leituras das imagens simuladas com o uso das curvas isolux forneceram informações sobre as quantidades de carteiras com iluminância adequada ou inadequada representadas, como já foi dito, por meio de porcentagens sobre a ocupação total do ambiente.

Em uma primeira análise, referente a cada sala separadamente, percebeu-se que poucas carteiras recebiam níveis adequados de iluminância, dificultando a identificação de melhores ou piores situações. Optou-se por subdividir a faixa de iluminâncias elevadas, com a inserção de uma faixa, relativa a valores entre 650 e 1000 lux e outra com valores acima de 1000 lux, exclusivamente para fins de comparação entre os ambientes.

A verificação das simulações geradas demonstrou a necessidade de se analisar as salas com orientação oposta em conjunto, duas a duas, e de se padronizar as gradações entre as curvas isolux, de maneira que pudessem atender às diferentes situações estudadas. Assim, em um segundo momento, foram refeitas as análises Norte-Sul e Leste-Oeste já realizadas, bem como as novas inclinações Nordeste-Sudoeste e Noroeste-Sudeste. As novas faixas – agora divididas de 200 em 200 lux – direcionaram a adoção de uma nova classificação, derivada das gradações, para que a comparação direta entre as condições testadas se fizesse possível.

Continuou-se utilizando o valor central de 500 lux como recomendado, porém adaptando os limites das demais faixas. A faixa de iluminâncias adequadas teve seu limite inferior alterado para 300 lux, permanecendo ainda dentro dos valores

estipulados pela norma. Aplicando a diferença de 200 lux também para o valor máximo, obteve-se o limite superior de 700 lux. Assim, todas as novas simulações passaram a ser analisadas segundo a classificação:

insuficientes < 300lux < adequadas < 700lux < elevadas

O número de carteiras situadas dentro de cada faixa produziu valores em porcentagem que serviram de base para a escolha da posição mais indicada para o aproveitamento da luz natural. Com as verificações das salas opostas em conjunto não mais se fez necessária a subdivisão da faixa de iluminâncias elevadas, para fins de contagem e comparação.

Partiu-se então para a consideração da influência que esta orientação poderia ter na qualidade térmica das salas, seguindo os procedimentos descritos por Olgyay e Olgyay (1957). Neste método trabalha-se com temperaturas médias locais e desenhos de máscaras de sombras sobre cartas solares, definindo-se dispositivos para proteção das faces expostas ao sol em determinados dias e horários em que se verificam temperaturas acima de valores térmicos de conforto pré-definidos, geradas ou agravadas pela incidência solar direta.

Os elementos externos de proteção solar, dimensionados para atender às situações exigidas, foram incorporados ao modelo para novas simulações referentes aos níveis internos de iluminação. Todos os novos resultados foram analisados, seguindo-se os mesmos critérios e valores adotados anteriormente.

A função de modelagem 3D permite a criação de modelos capazes de reproduzir as mesmas condições, materiais e detalhes construtivos existentes na construção ou no projeto real. Dessa forma, o modelo pode ser elaborado exatamente conforme as especificações técnicas constantes no projeto padrão das salas utilizadas, obtido junto à FUNDEPAR. Adotou-se, para os índices de refletividade dos materiais especificados, valores do próprio Ecotect, comparados com dados encontrados em Vianna e Gonçalves (2004). Posteriormente, alguns destes dados foram corrigidos de acordo com Castro et al. (2003), resultando nos índices apresentados na Tabela 2.

TABELA 2 – COEFICIENTES DE REFLETÂNCIAS DE MATERIAIS

REFERÊNCIAS DE MATERIAIS	(ρ)
Parede de alvenaria cor branca	0,85
Piso cerâmico cor clara	0,60
Teto	0,85
Vidro	0,08 (0,92 de transparência)
Carteiras	0,70
Quadro de lousa	0,25
Concreto aparente	0,50

Fonte: Vianna e Gonçalves (2004), software Ecotect e Castro et al. (2003)

Adotou-se no Ecotect a opção de céu claro com sol (*sunny with sun*) para as renderizações e análises, visto que se pretendia estudar os efeitos da incidência solar direta em diferentes orientações do eixo da construção.

Na pesquisa, teve-se às imagens resultantes de câmeras posicionadas junto ao teto e com os alvos no piso das salas de aula, que geraram perspectivas muito próximas de vistas em planta, já que os ângulos de abertura das lentes virtuais foram especificados para serem capazes de “enxergar” toda a área da sala.

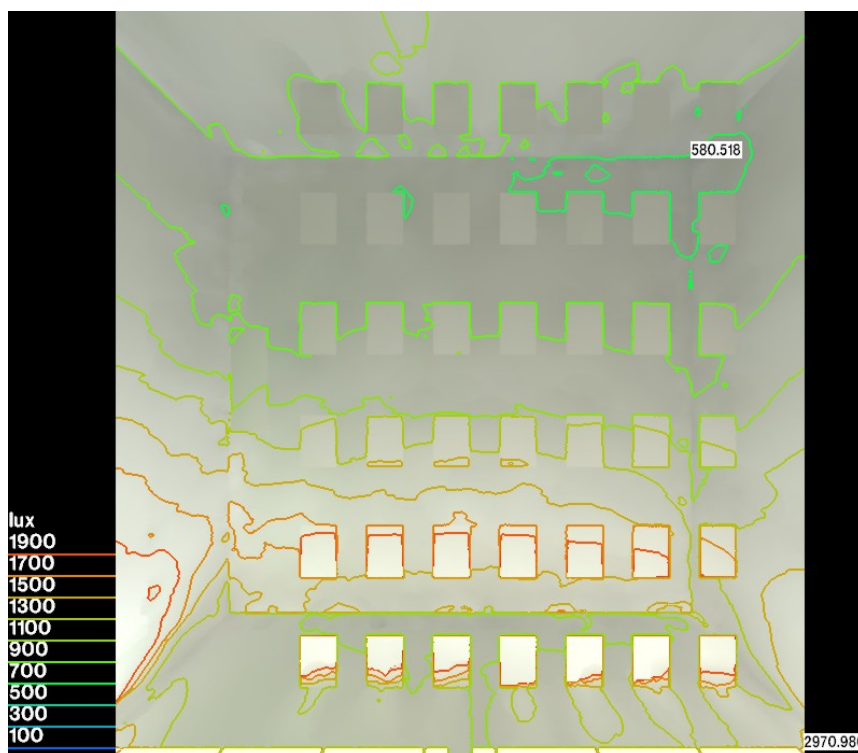
Face à natureza da pesquisa, as análises se concentraram exclusivamente nas iluminâncias encontradas nas salas de aula, adotando-se as vistas *em planta* produzidas com as câmeras posicionadas no modelo. Para cada situação a ser verificada, exportava-se os dados do Ecotect para o Radiance, especificando que as leituras fossem feitas de acordo com as alturas solares do primeiro programa, com céu claro e ensolarado em um primeiro momento e posteriormente com céu encoberto, em ambos os casos considerando as luzes internas apagadas. Estipulou-se um número de 5 reflexões do raio luminoso para a obtenção do resultado final, apresentado em cada imagem na forma de curvas isolux distribuídas pelo ambiente.

Dessa maneira, pode-se fazer a contagem de carteiras localizada em cada região ou faixa de curvas, determinando quais encontram-se em situações adequadas ou não, segundo os critérios previamente definidos. O Radiance pede que se entre com um limite máximo para cálculo da iluminância e o número de divisões que se deseja entre as curvas de maior e menor intensidade. Cada situação exigia que fosse estipulado um limite máximo diferente para as curvas, face às diferenças das condições de iluminação.

Para que todas as simulações pudessem ser comparadas de forma igual e tabuladas conforme critérios padronizados, estabeleceu-se uma gradação de 200

em 200 lux para as faixas entre as curvas, com uma variação proporcional para os valores máximos e as divisões das curvas. Assim, os valores seguiram as seguintes diretrizes: 5 divisões para valores máximos de 1000 lux, 10 divisões para valores máximos de 2000 lux e 20 divisões para valores máximos de 4000 lux. Os limites máximos surgiram naturalmente das leituras das simulações; já as divisões entre as faixas não são representativas com menos de 5 e tornam-se confusas com mais de 20 faixas para leitura. As imagens geradas após a entrada de todos os dados e especificações para análise seguem o padrão da Figura 19.

FIGURA 19 – IMAGEM DA SALA DE AULA COM AS CURVAS ISOLUX SOBRE OS PLANOS DE TRABALHO



Fonte: Pesquisa

Utilizou-se, então, o programa Analysis Sol-Ar para a elaboração e impressão das cartas solares da cidade de Curitiba e do transferidor auxiliar, de modo a auxiliar na determinação dos ângulos de proteção. Estes ângulos deveriam, em princípio, orientar o dimensionamento de dispositivos de sombreamento capazes de proteger as fachadas de interesse da incidência solar direta nos horários que apresentavam temperaturas acima dos limites calculados como adequados ao conforto dos usuários.

Os gráficos resultantes forneceram informações e foram comparados com a mesma carta solar construída em arquivo no formato *DWG*, modelo que serviu de base para a demarcação de faixas de temperatura, máscaras de sombra e a conseqüente obtenção de muitos desenhos presentes nesta pesquisa.

No caso específico da pesquisa, as cartas solares foram utilizadas para a marcação dos períodos em que os ambientes estudados apresentaram condições de temperatura acima dos limites de conforto, de acordo com o método proposto por Olgay e Olgay (1957). Esta representação gráfica foi tomada como base para o traçado das máscaras de sombra capazes de proteger as salas de aula da insolação direta nas datas e horários determinados.

Os ângulos de proteção solar α , β e γ (correspondentes aos ângulos reais existentes entre a construção e as extremidades dos elementos de sombreamento), determinados com os diagramas citados anteriormente, foram traduzidos para dimensões lineares, referentes aos dispositivos de proteção (Figura 4). A entrada deste dados no software Luz do Sol possibilitou o cálculo e a representação gráfica da luz solar direta que entra pelas aberturas da edificação, para as orientações, datas e horários estabelecidos.

Após a entrada de dados de localização (latitude e longitude de Curitiba), da orientação da fachada onde se encontra a abertura, da data de análise, da distância e altura de eventuais obstáculos, das dimensões internas do ambiente e das aberturas, foram especificados dispositivos de sombreamento com as dimensões resultantes das leituras dos ângulos α , β e γ . O programa então simulou e demonstrou quantas e quais as horas em que há incidência solar no ambiente para a situação pré-estabelecida, indicando a real eficiência dos elementos de proteção solar.

Desta maneira, tornou-se possível verificar se os resultados gerados pelo Luz do Sol corresponderam com as leituras dos diagramas solares, comprovando a validade das leituras efetuadas.

4.6 DETERMINAÇÃO DE DISPOSITIVOS DE SOMBRA

Adotou-se a correção da temperatura limite de conforto, conforme sugerido pelo método de Olgay e Olgay, em função da faixa de latitudes. Considerando que

a latitude da região de Curitiba é próxima de 25° Sul, diferenciando-se em 15° da latitude base, o acréscimo para correção deve ser de $3 * 3/4^{\circ}\text{F}$, que somados a 70°F resultam em 72,25°F. Convertendo-se o valor para graus Celsius (com a fórmula “ $^{\circ}\text{C} = 5/9 * [^{\circ}\text{F} - 32]$ ”), tem-se a temperatura referência de 22,36°C.

4.6.1 TRY

Para os fins da pesquisa e de acordo com Olgay e Olgay (1957), foram calculadas médias térmicas de duas em duas horas para todos os dias do mês, que foram compiladas e reproduzidas em uma tabela-resumo, que aparece abaixo.

TABELA 3 – TEMPERATURAS MÉDIAS PARA CURITIBA (TRY)

TEMPERATURAS MÉDIAS DO ANO CLIMÁTICO DE REFERÊNCIA DE CURITIBA (°C)												
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
0 a 2 horas	18,1	18,4	17,2	14,5	12,4	11,3	10,1	11,3	12,8	12,1	15,8	15,3
2 a 4 horas	17,6	18,0	16,8	14,3	11,9	10,8	9,6	10,8	12,3	11,8	15,5	14,9
4 a 6 horas	16,9	17,7	16,4	14,0	11,3	10,3	9,0	10,1	11,9	11,5	15,1	14,4
6 a 8 horas	17,0	17,8	16,3	13,8	10,6	9,7	8,3	9,7	11,5	11,7	15,5	14,9
8 a 10 horas	19,7	19,9	18,3	15,2	12,1	11,0	9,4	11,0	13,5	13,5	17,7	17,6
10 a 12 horas	23,0	22,7	21,2	17,6	15,9	14,5	13,4	14,8	17,2	15,8	19,9	20,3
12 a 14 horas	25,3	24,6	23,3	19,5	18,8	16,8	16,8	17,9	19,5	17,5	21,2	21,7
14 a 16 horas	26,1	25,0	24,6	20,5	19,9	17,6	18,1	19,1	20,7	18,0	21,8	22,3
16 a 18 horas	24,3	24,2	23,9	19,5	19,2	16,8	17,5	18,4	19,8	17,2	21,2	21,1
18 a 20 horas	21,7	21,8	20,7	17,0	16,1	14,2	14,6	15,5	16,9	15,0	18,8	18,6
20 a 22 horas	19,4	19,7	18,4	15,4	13,8	12,6	12,2	13,1	14,6	13,4	16,9	16,5
22 a 24 horas	18,6	19,0	17,7	14,7	13,0	11,6	11,0	11,9	13,6	12,6	16,3	15,8
Médias mensais	20,6	20,7	19,6	16,3	14,6	13,1	12,5	13,6	15,4	14,2	18,0	17,8

Fonte: Pesquisa

Esta tabela permite a identificação das datas e horários em que há ocorrência de temperaturas mais altas do que os limites calculados segundo os procedimentos do método de Olgay e Olgay (1957) e do Conforto Adaptativo, para o posterior desenho das proteções solares mais adequadas.

4.6.2 Temperatura de conforto calculada pelo método do Conforto Adaptativo

A determinação da temperatura limite considerada no método proposto por Olgay e Olgay (1957) utiliza um valor fixo - derivado de 70°F - que não leva em conta as variações que podem ocorrer no clima local para faixas de mesma latitude. Optou-se, então, pelo cálculo desta temperatura segundo os critérios do Conforto

Adaptativo - ACS (*Adaptive Comfort Standard*), mais flexível e relacionado com as características do clima local, variando os valores térmicos de referência conforme os diferentes períodos do ano.

As temperaturas calculadas segundo o ACS foram então incorporadas ao método de Olgay e Olgay (1957), substituindo o valor limite único por eles indicado e significando uma maior adequação às variações das condições climáticas locais, já que indicam padrões variáveis de temperatura.

Dessa maneira, utilizando-se as médias encontradas na Tabela 3 os valores obtidos foram os seguintes:

TABELA 4 – TEMPERATURAS LIMITE DE CONFORTO PARA CURITIBA (ACS)

MÊS	TEMPERATURAS LIMITE DE CONFORTO (°C)
Janeiro	24,2
Fevereiro	24,2
Março	23,9
Abril	22,9
Maio	22,3
Junho	21,9
Julho	21,7
Agosto	22,0
Setembro	22,6
Outubro	22,2
Novembro	23,4
Dezembro	23,3

Fonte: Pesquisa

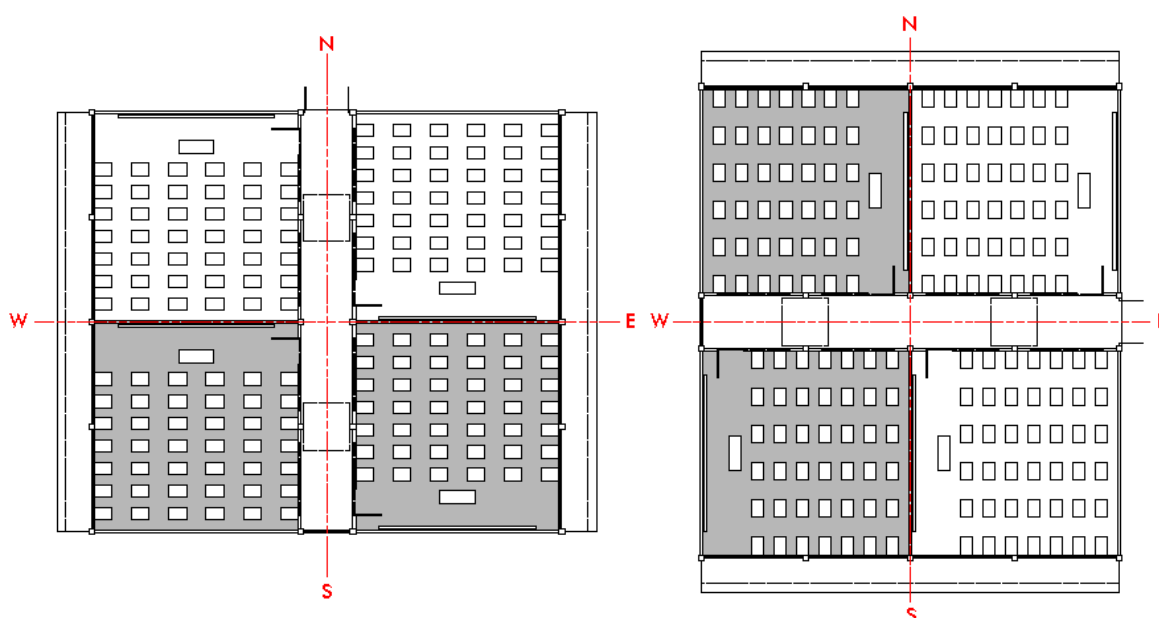
Adotou-se nos procedimentos desta pesquisa, por rigor, somente a temperatura ideal T_{conf} como limite de conforto (Tabela 4), evitando-se utilizar os valores de tolerância sugeridos pelo método.

Os resultados obtidos são apresentados no capítulo seguinte.

5 RESULTADOS OBTIDOS

Em um primeiro momento da pesquisa, trabalhou-se somente com as simulações referentes às iluminações produzidas com orientações do eixo central da edificação para Norte-Sul e Leste-Oeste (Figura 20), com o objetivo principal de ajustar a metodologia e melhorar os procedimentos que haviam sido pré-estabelecidos. Posteriormente, foram realizadas simulações para todas as posições (N-S, E-W, NE-SW e NW-SE) previamente definidas.

FIGURA 20 – ORIENTAÇÕES ANALISADAS DAS CONSTRUÇÕES



Fonte: Pesquisa

Em ambas – combinadas com as variações de dias e horários anteriormente descritos (21 de junho e 21 de dezembro, às 9, 12 e 15 horas) - trabalhou-se preliminarmente com gradações, estabelecidas para cada caso, que fornecessem curvas isolux baseadas nas condições de iluminância máximas e mínimas nos planos de trabalho.

Na prática, estabeleceu-se inicialmente um número padrão de divisão entre as curvas (no caso, 10 divisões), que eram reproduzidas pelo programa Radiance a partir de um valor máximo, definido de acordo com as condições encontradas no ato da realização de cada leitura.

Como os ambientes recebem níveis de iluminação diferentes em cada composição dia-horário-orientação, conseqüentemente os valores sofreram grandes variações de caso para caso. Em algumas leituras foram utilizadas curvas entre 0 e 1000 lux e outras entre 0 e 4000 lux, por exemplo, para que se obtivessem resultados satisfatórios na identificação das carteiras bem ou mal iluminadas.

Trabalhando em um primeiro momento, conforme explicado anteriormente, com valores de iluminância classificados como adequados quando situados entre 350 e 650 lux, a interpretação dos dados demonstrou não haver ocorrência, em nenhuma situação (no inverno ou no verão), de carteiras com iluminância abaixo do adequado. No entanto, constatou-se que na grande maioria dos casos os planos de trabalho apresentaram valores acima dos limites definidos.

No solstício de inverno, a orientação de janelas para o Sul apresentou as melhores condições, seguida da orientação Oeste e da Leste. As salas com janelas voltadas para o Norte não apresentaram carteiras com níveis adequados de iluminação, fazendo com que todas recebessem iluminâncias acima de 1000 lux nos três horários verificados, mostrando-se a pior orientação de todas.

Para as combinações de horário e orientação simuladas no solstício de verão, as janelas para o Norte apresentaram as situações de planos de trabalho mais próximas das condições recomendadas, seguida das orientações Oeste, Leste, e Sul. Mesmo assim, continuaram altas as ocorrências acima do limite máximo estabelecido.

Neste procedimento, porém, o número fixo estabelecido para as divisões produziu faixas entre as curvas com gradações distintas em cada caso, o que acabou por prejudicar a comparação direta entre as situações. Optou-se, então, pela definição de novos valores e divisões proporcionais que pudessem ser aplicados para todas as leituras. Assim, as gradações intermediárias seriam sempre as mesmas e as comparações diretas seriam viabilizadas.

Após uma revisão dos valores encontrados, foi possível delimitar novos parâmetros, que basicamente passaram a variar entre três valores máximos para as leituras das iluminâncias (1000, 2000 e 4000 lux). Para cada análise, se entrava com estes máximos quando da exportação dos dados para o Radiance, seguindo agora uma proporcionalidade quanto ao número de divisões, que passou a obedecer às seguintes razões, passíveis de serem aplicadas a todas as possibilidades: a) 5

divisões para um máximo de 1000 lux; b) 10 divisões para um máximo de 2000 lux; e c) 20 divisões para um máximo de 4000 lux. Assim, a menor faixa passou a ser constante, de 0-100 lux, aumentando de 200 em 200 lux para cada novo índice.

Passou-se a classificar as iluminâncias como adequadas quando situadas entre 300 e 700 lux, adaptando os valores previamente determinados às novas faixas de valores. Dessa forma, todas as simulações para as orientações do eixo da edificação Norte-Sul e Leste-Oeste foram então refeitas, para todas as variações de dias e horários. Seguindo os mesmos parâmetros, foram simuladas também novas posições relativas às orientações intermediárias Nordeste-Sudoeste e Noroeste-Sudeste, abordando assim diferentes possibilidades e condições de iluminação da edificação.

Como as primeiras verificações indicaram que, devido ao espelhamento dos ambientes (ver Figura 20), uma melhor orientação de janelas para uma sala teria como consequência a pior situação para a sala com orientação oposta, optou-se por levar em consideração o somatório das carteiras dos ambientes com aberturas em faces opostas, dois a dois. Por exemplo, os planos de trabalho encontrados na faixa com iluminação adequada das salas com janelas para Norte seriam somados com os da sala com janelas para Sul e comparados com a soma entre as salas Leste e Oeste.

A orientação que apresentasse o maior número de carteiras adequadas entre todas as variações de dia-horário-orientação indicaria uma posição mais favorável para que a construção fosse implantada. A leitura dos dados apontou resultados muito próximos para as quatro orientações do eixo, mostrando que as maiores ocorrências de iluminâncias internas próximas de situações ideais se davam na orientação com janelas para Noroeste-Sudeste, com 25% das carteiras de todas as situações testadas, seguida pelas orientações Norte-Sul e Leste-Oeste, com 24% para ambas e pela orientação Nordeste-Sudoeste, que possui 23% das carteiras.

Nota-se que no verão a fachada com janelas para Norte, com 23% das carteiras (média para os três horários somados), apresenta condições melhores que a fachada com janelas para Sul, com 13% entre 500 e 700 lux. No entanto, a situação se inverte no inverno, quando o Norte não possui níveis adequados de iluminância e o Sul apresenta 28% de carteiras entre 300 e 500 lux e 30% entre 500 e 700 lux.

As distribuições encontradas reforçam o fato de que orientações opostas apresentam qualidades de iluminação contrárias, ou seja, quando uma sala tem condições satisfatórias, a outra está distante dos níveis recomendados. Os números encontrados podem ser vistos nas tabelas a seguir, onde a coluna “Total” diz respeito à média do total de carteiras para os três horários verificados:

TABELA 5 – DISTRIBUIÇÃO DE CARTEIRAS POR FAIXA DE ILUMINÂNCIA – N-S

DISTRIBUIÇÃO DE CARTEIRAS POR FAIXAS DE ILUMINÂNCIA PARA OS SOLSTÍCIOS DE VERÃO E DE INVERNO, NAS ORIENTAÇÕES NORTE E SUL, EM PORCENTAGEM																
lux	VERÃO								INVERNO							
	NORTE				SUL				NORTE				SUL			
	% carteiras			TOTAL	% carteiras			TOTAL	% carteiras			TOTAL	% carteiras			TOTAL
	9h	12h	15h		9h	12h	15h		9h	12h	15h		9h	12h	15h	
0-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
100-300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
300-500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50%	-	33%	28%
500-700	36%	-	33%	23%	31%	-	10%	13%	-	-	-	-	21%	50%	19%	30%
700-900	14%	-	17%	10%	19%	-	29%	16%	-	-	-	-	29%	7%	26%	21%
900-1100	17%	-	7%	8%	2%	-	12%	5%	-	-	-	-	-	43%	21%	21%
1100-1300	-	7%	10%	6%	14%	-	14%	10%	-	-	-	-	-	-	-	-
1300-1500	2%	26%	7%	12%	-	33%	2%	12%	2%	-	10%	4%	-	-	-	-
1500-1700	26%	17%	19%	21%	7%	12%	-	6%	10%	17%	12%	13%	-	-	-	-
1700-1900	5%	-	7%	4%	21%	5%	26%	17%	14%	5%	5%	8%	-	-	-	-
1900-2100	-	50%	-	17%	5%	50%	7%	21%	10%	12%	7%	10%	-	-	-	-
2100-2300	-	-	-	-	-	-	-	-	5%	-	10%	5%	-	-	-	-
2300-2500	-	-	-	-	-	-	-	-	5%	-	12%	6%	-	-	-	-
2500-2700	-	-	-	-	-	-	-	-	2%	-	-	1%	-	-	-	-
2700-2900	-	-	-	-	-	-	-	-	5%	12%	-	6%	-	-	-	-
2900-3100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5%	5%	3%	-	-	-	-
3100-3300	-	-	-	-	-	-	-	-	5%	-	5%	3%	-	-	-	-
3300-3500	-	-	-	-	-	-	-	-	5%	-	5%	3%	-	-	-	-
3500-3700	-	-	-	-	-	-	-	-	2%	-	10%	4%	-	-	-	-
3700-3900	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5%	2%	-	-	-	-
>3900	-	-	-	-	-	-	-	-	36%	50%	17%	34%	-	-	-	-
TOTAL	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Fonte: Pesquisa

A situação com janelas voltadas para Leste e Oeste demonstrou ser a que apresenta melhor distribuição de iluminâncias, considerando-se ambas as fachadas em conjunto. Isto dá margem para o estudo e o possível apontamento de um segundo critério de implantação. Enquanto um dos critérios toma por base a maior porcentagem “conjugada” de iluminâncias, o outro poderia estar relacionado com a orientação que apresentasse distribuição mais uniforme de iluminâncias em ambas

as fachadas.

O uso em conjunto dos dois critérios (quantidade de carteiras e equilíbrio entre as fachadas) fornece mais subsídios para implantações de novos edifícios. Este equilíbrio pode ser mensurado por meio de uma razão entre as faces, de maneira que o projetista possa ter em mãos informações que permitam optar pela orientação que melhor se adapte às imposições e condicionantes do terreno e do entorno. Conhecendo o comportamento que a construção terá com relação a níveis e distribuição da luz natural nas salas opostas pelo corredor, torna-se possível, por exemplo, evitar aberturas voltadas para fontes de ruído, prevendo-se o comportamento luminoso que as salas terão para qualquer outra orientação de janelas. A Tabela 6 apresenta os valores encontrados para as salas com aberturas para Leste e Oeste.

TABELA 6 – DISTRIBUIÇÃO DE CARTEIRAS POR FAIXA DE ILUMINÂNCIA – E-W

DISTRIBUIÇÃO DE CARTEIRAS POR FAIXAS DE ILUMINÂNCIA PARA OS SOLSTÍCIOS DE VERÃO E DE INVERNO, NAS ORIENTAÇÕES LESTE E OESTE, EM PORCENTAGEM																
VERÃO									INVERNO							
lux	LESTE				OESTE				LESTE				OESTE			
	% carteiras			TOTAL	% carteiras			TOTAL	% carteiras			TOTAL	% carteiras			TOTAL
	9h	12h	15h		9h	12h	15h		9h	12h	15h		9h	12h	15h	
0-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
100-300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
300-500	-	-	-	-	10%	-	-	3%	-	-	33%	11%	50%	-	-	17%
500-700	-	-	33%	11%	40%	-	-	13%	-	33%	19%	17%	31%	38%	-	23%
700-900	-	-	17%	6%	10%	-	-	3%	-	17%	16%	11%	19%	12%	-	10%
900-1100	-	-	33%	11%	40%	10%	-	17%	-	5%	33%	12%	-	17%	-	6%
1100-1300	-	-	7%	2%	-	14%	17%	10%	-	12%	-	4%	-	-	-	-
1300-1500	-	2%	10%	4%	-	17%	17%	11%	2%	2%	-	2%	-	2%	7%	3%
1500-1700	24%	12%	-	12%	-	10%	2%	4%	10%	26%	-	12%	-	31%	19%	17%
1700-1900	10%	5%	-	5%	-	50%	14%	21%	12%	5%	-	6%	-	-	7%	2%
1900-2100	2%	14%	-	6%	-	-	-	-	12%	-	-	4%	-	-	5%	2%
2100-2300	10%	2%	-	4%	-	-	-	-	10%	-	-	3%	-	-	5%	2%
2300-2500	5%	14%	-	6%	-	-	-	-	14%	-	-	5%	-	-	7%	2%
2500-2700	-	-	-	-	-	-	17%	6%	2%	-	-	1%	-	-	5%	2%
2700-2900	-	17%	-	6%	-	-	-	-	2%	-	-	1%	-	-	-	-
2900-3100	-	-	-	-	-	-	-	-	7%	-	-	2%	-	-	2%	1%
3100-3300	17%	-	-	6%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5%	2%
3300-3500	-	-	-	-	-	-	-	-	2%	-	-	1%	-	-	2%	1%
3500-3700	-	17%	-	6%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7%	2%
3700-3900	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5%	2%
>3900	33%	17%	-	17%	-	-	33%	11%	26%	-	-	9%	-	-	24%	8%
TOTAL	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Fonte: Pesquisa

A orientação NW-SE (Tabela 7) demonstrou ter os resultados mais aceitáveis dentre as possibilidades. No solstício de verão, 17% das carteiras da sala para Noroeste (considerando-se o total dos três horários verificados) se mostraram adequadas, com iluminâncias entre 500 e 700 lux. A sala oposta, orientada para Sudeste, nesta situação, apresentou 11% das carteiras entre 500 e 700 lux.

No solstício de inverno, a orientação NW possui 14% de carteiras entre 300 e 500 lux e 6% entre 500 e 700 lux, enquanto o SE tem 27% entre 300 e 500 lux e 25% entre 500 e 700 lux.

TABELA 7 – DISTRIBUIÇÃO DE CARTEIRAS POR FAIXA DE ILUMINÂNCIA – NW-SE

DISTRIBUIÇÃO DE CARTEIRAS POR FAIXAS DE ILUMINÂNCIA PARA OS SOLSTÍCIOS DE VERÃO E DE INVERNO, NAS ORIENTAÇÕES NOROESTE E SUDESTE, EM PORCENTAGEM																
VERÃO									INVERNO							
lux	NOROESTE				SUDESTE				NOROESTE				SUDESTE			
	% carteiras			TOTAL	% carteiras			TOTAL	% carteiras			TOTAL	% carteiras			TOTAL
	9h	12h	15h		9h	12h	15h		9h	12h	15h		9h	12h	15h	
0-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
100-300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
300-500	-	-	-	-	-	-	-	-	43%	-	-	14%	40%	7%	33%	27%
500-700	50%	-	-	17%	-	-	33%	11%	17%	-	-	6%	12%	43%	19%	25%
700-900	7%	-	-	2%	-	-	17%	6%	17%	-	-	6%	14%	17%	21%	17%
900-1100	10%	-	33%	14%	5%	-	17%	7%	24%	21%	-	15%	33%	-	26%	20%
1100-1300	31%	17%	12%	20%	29%	2%	-	10%	-	14%	-	5%	-	33%	-	11%
1300-1500	2%	17%	10%	10%	2%	26%	29%	19%	-	14%	-	5%	-	-	-	-
1500-1700	-	17%	12%	10%	14%	17%	5%	12%	-	-	-	-	-	-	-	-
1700-1900	-	-	33%	11%	-	5%	-	2%	-	2%	-	1%	-	-	-	-
1900-2100	-	2%	-	1%	5%	-	-	2%	-	48%	-	16%	-	-	-	-
2100-2300	-	12%	-	4%	12%	2%	-	5%	-	-	-	-	-	-	-	-
2300-2500	-	2%	-	1%	-	12%	-	4%	-	-	-	-	-	-	-	-
2500-2700	-	-	-	-	-	2%	-	1%	-	-	-	-	-	-	-	-
2700-2900	-	-	-	-	2%	-	-	1%	-	-	-	-	-	-	-	-
2900-3100	-	-	-	-	14%	-	-	5%	-	-	-	-	-	-	-	-
3100-3300	-	10%	-	3%	17%	-	-	6%	-	-	2%	1%	-	-	-	-
3300-3500	-	12%	-	4%	-	17%	-	6%	-	-	19%	6%	-	-	-	-
3500-3700	-	2%	-	1%	-	10%	-	3%	-	-	12%	4%	-	-	-	-
3700-3900	-	2%	-	1%	-	2%	-	1%	-	-	-	-	-	-	-	-
>3900	-	14%	-	5%	-	5%	-	2%	-	-	67%	22%	-	-	-	-
TOTAL	100%	107%	100%	102%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Fonte: Pesquisa

A Tabela 8 apresenta valores referentes a salas de aula com janelas para Nordeste e Sudoeste. Neste caso, no verão, tem-se 12% de carteiras entre 500 e

700 lux na sala NE e, nesta mesma faixa, 6% na sala SW. Já no inverno, as salas para NE possuem 9% de carteiras entre 300 e 500 lux e 8% entre 500 e 700 lux, enquanto as salas para SW têm 17% entre 300 e 500 lux e 40% entre 500 e 700 lux.

TABELA 8 – DISTRIBUIÇÃO DE CARTEIRAS POR FAIXA DE ILUMINÂNCIA – NE-SW

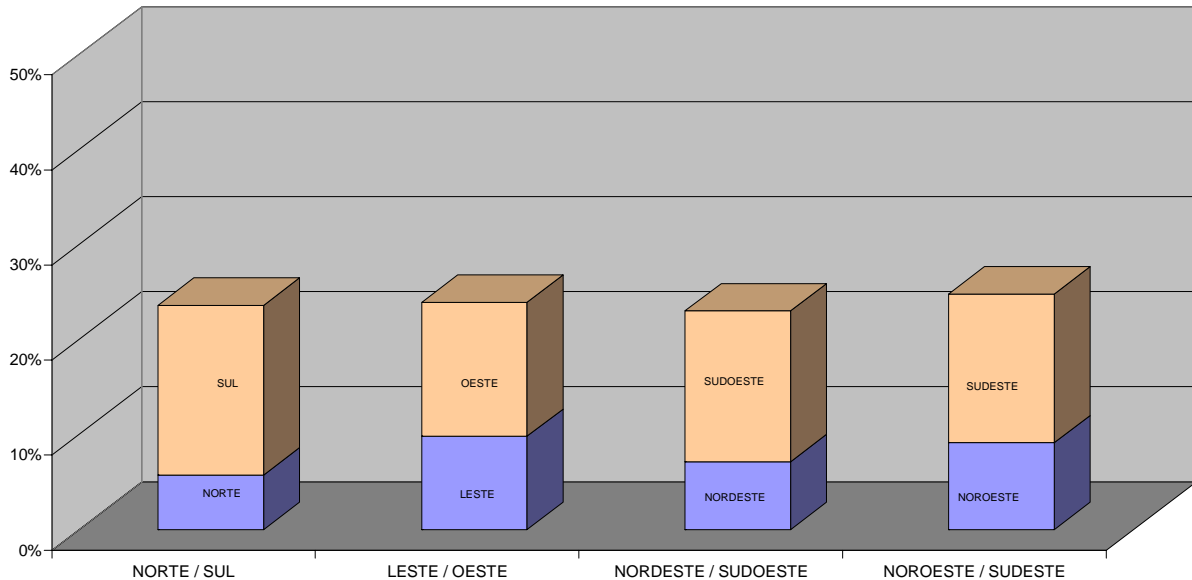
DISTRIBUIÇÃO DE CARTEIRAS POR FAIXAS DE ILUMINÂNCIA PARA OS SOLSTÍCIOS DE VERÃO E DE INVERNO, NAS ORIENTAÇÕES NORDESTE E SUDOESTE, EM PORCENTAGEM																
lux	VERÃO								INVERNO							
	NORDESTE				SUDOESTE				NORDESTE				SUDOESTE			
	% carteiras			TOTAL	% carteiras			TOTAL	% carteiras			TOTAL	% carteiras			TOTAL
	9h	12h	15h		9h	12h	15h		9h	12h	15h		9h	12h	15h	
0-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
100-300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
300-500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26%	9%	50%	-	2%	17%
500-700	-	-	36%	12%	17%	-	-	6%	-	-	24%	8%	33%	40%	48%	40%
700-900	21%	-	14%	12%	21%	-	-	7%	-	-	17%	6%	17%	12%	-	10%
900-1100	17%	-	17%	11%	12%	5%	24%	13%	-	-	-	-	-	48%	5%	17%
1100-1300	12%	10%	-	7%	38%	19%	12%	23%	-	2%	17%	6%	-	-	19%	6%
1300-1500	2%	24%	12%	13%	12%	10%	14%	12%	-	31%	17%	16%	-	-	26%	9%
1500-1700	7%	-	21%	10%	-	17%	-	6%	-	2%	-	1%	-	-	-	-
1700-1900	7%	12%	-	6%	-	-	2%	1%	-	12%	-	4%	-	-	-	-
1900-2100	33%	5%	-	13%	-	-	48%	16%	-	2%	-	1%	-	-	-	-
2100-2300	-	2%	-	1%	-	12%	-	4%	-	-	-	-	-	-	-	-
2300-2500	-	2%	-	1%	-	5%	-	2%	-	2%	-	1%	-	-	-	-
2500-2700	-	12%	-	4%	-	-	-	-	-	14%	-	5%	-	-	-	-
2700-2900	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2900-3100	-	-	-	-	-	17%	-	6%	-	-	-	-	-	-	-	-
3100-3300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5%	-	2%	-	-	-	-
3300-3500	-	5%	-	2%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3500-3700	-	12%	-	4%	-	-	-	-	17%	-	-	6%	-	-	-	-
3700-3900	-	2%	-	1%	-	2%	-	1%	21%	12%	-	11%	-	-	-	-
>3900	-	14%	-	5%	-	14%	-	5%	62%	17%	-	26%	-	-	-	-
TOTAL	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Fonte: Pesquisa

Percebe-se, no gráfico da Figura 21, que as faces opostas da construção não recebem a mesma quantidade de luz, mesmo para alturas solares equivalentes. Tendo a edificação janelas para ambos os lados, as duas situações devem ser consideradas de forma conjugada para que se possa compará-las de maneira a obter um panorama do desempenho da edificação como um todo. A figura 21 permite a visualização das orientações com maiores porcentagens de iluminâncias e do grau de equilíbrio entre os níveis de iluminação apresentados por duas fachadas

opostas.

FIGURA 21 – GRÁFICO DE PORCENTAGEM DE CARTEIRAS POR ORIENTAÇÃO SOLAR COMBINADA



Fonte: Pesquisa

Mesmo nas orientações mais indicadas, houve um número muito grande de carteiras que continuaram recebendo iluminâncias excessivas, devido à quantidade de luz externa proporcionada pelas dimensões das esquadrias existentes. Assim como a incidência solar direta é capaz de produzir os efeitos de ofuscamento percebidos, também pode afetar a temperatura interna das salas, produzindo problemas térmicos e prejudicando a qualidade do espaço e o conforto dos usuários. O passo seguinte, então, foi a abordagem da influência que cada orientação poderia ter na qualidade térmica dos ambientes, conforme o método proposto por Olgay e Olgay (1957), explicado anteriormente.

A temperatura de conforto foi calculada de duas maneiras diferentes, de acordo com: a) uma temperatura de referência sugerida por Olgay e Olgay e adaptada para a latitude de 25° S, correspondente à latitude de Curitiba, que resultou no valor de 22,36°C; e b) limites variáveis calculados pelo método de Conforto Adaptativo ACS). Adotou-se este segundo método, por estar sendo contemplado pelas normas da ASHRAE *Standard 55* e levar em consideração as características do clima local, variando os valores térmicos de referência conforme

as diferentes condições encontradas durante o ano.

Neste caso, foi considerado o caso de uma escola localizada na região de Curitiba – cidade com maior número de escolas 023 implantadas. Os dados do ano climático de referência (TRY) da cidade, citados por Goulart et al. (1998), foram usados como base para o cálculo de médias térmicas de duas em duas horas, para um dia médio representativo de cada mês, para todos os meses do ano.

Comparando-se os valores médios com as temperaturas limites calculadas para cada mês (Conforto Adaptativo) determinou-se, ao longo do ano, em quais situações há ocorrência de temperaturas mais elevadas do que os valores de conforto calculados, conforme a Tabela 9. Em função disso, as situações em que haveria necessidade de proteção solar encontram-se em janeiro, das 12:00h às 18:00h, em fevereiro, também das 12:00h às 18:00h e em março, das 14:00h às 18:00h.

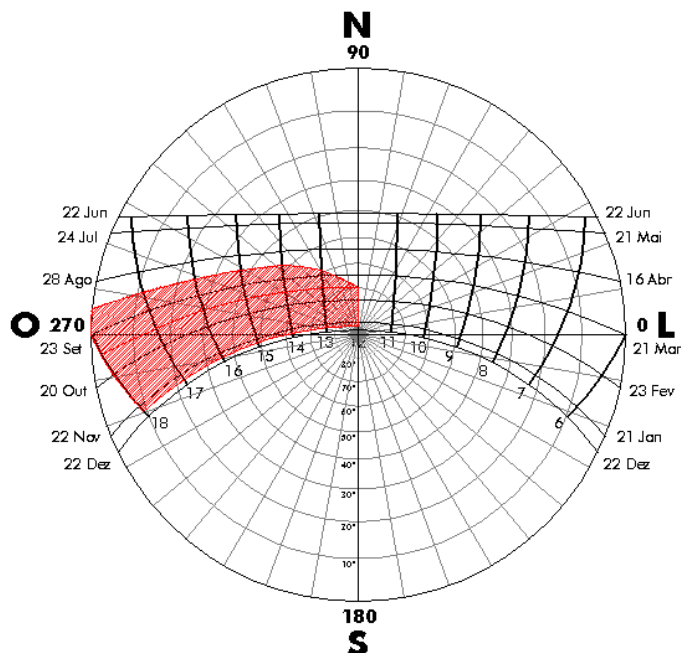
TABELA 9 – IDENTIFICAÇÃO DAS TEMPERATURAS LIMITE DE CONFORTO

TEMPERATURAS MÉDIAS DO ANO CLIMÁTICO DE REFERÊNCIA DE CURITIBA (°C)												
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
0 a 2 horas	18,1	18,4	17,2	14,5	12,4	11,3	10,1	11,3	12,8	12,1	15,8	15,3
2 a 4 horas	17,6	18,0	16,8	14,3	11,9	10,8	9,6	10,8	12,3	11,8	15,5	14,9
4 a 6 horas	16,9	17,7	16,4	14,0	11,3	10,3	9,0	10,1	11,9	11,5	15,1	14,4
6 a 8 horas	17,0	17,8	16,3	13,8	10,6	9,7	8,3	9,7	11,5	11,7	15,5	14,9
8 a 10 horas	19,7	19,9	18,3	15,2	12,1	11,0	9,4	11,0	13,5	13,5	17,7	17,6
10 a 12 horas	23,0	22,7	21,2	17,6	15,9	14,5	13,4	14,8	17,2	15,8	19,9	20,3
12 a 14 horas	25,3	24,6	23,3	19,5	18,8	16,8	16,8	17,9	19,5	17,5	21,2	21,7
14 a 16 horas	26,1	25,0	24,6	20,5	19,9	17,6	18,1	19,1	20,7	18,0	21,8	22,3
16 a 18 horas	24,3	24,2	23,9	19,5	19,2	16,8	17,5	18,4	19,8	17,2	21,2	21,1
18 a 20 horas	21,7	21,8	20,7	17,0	16,1	14,2	14,6	15,5	16,9	15,0	18,8	18,6
20 a 22 horas	19,4	19,7	18,4	15,4	13,8	12,6	12,2	13,1	14,6	13,4	16,9	16,5
22 a 24 horas	18,6	19,0	17,7	14,7	13,0	11,6	11,0	11,9	13,6	12,6	16,3	15,8
TEMPERATURA LIMITE (°C), calculada segundo o método do Conforto Adaptativo (Equação $T_{conf} = 0,31 * T_{média\ ext} + 17,8$)	24,2	24,2	23,9	22,9	22,3	21,9	21,7	22,0	22,6	22,2	23,4	23,3

Fonte: Pesquisa

A identificação, no diagrama solar da cidade de Curitiba (Figura 22), da faixa de temperaturas elevadas demonstra graficamente os períodos que devem receber maiores cuidados sob aspectos térmicos.

FIGURA 22 – PERÍODO DO ANO COM FAIXA DE TEMPERATURAS ELEVADAS PARA CURITIBA, PLOTADO SOBRE DIAGRAMA SOLAR



Fonte: Pesquisa

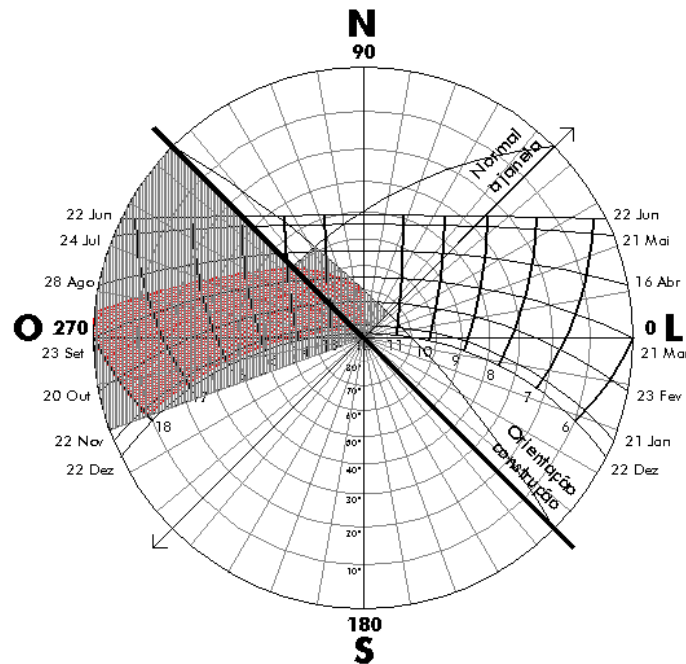
Baseando-se neste diagrama, partiu-se então para a determinação das proteções solares. Por sobreposição, desenhou-se a máscara de sombras capaz de fornecer as melhores condições de proteção à faixa de temperaturas. A máscara de sombras sobre a faixa de temperaturas elevadas passou então a ter a configuração visualizada na Figura 23, tomando-se como exemplo a orientação do eixo da escola para NW-SE (janelas para NE-SW).

Obteve-se como resultado a representação do sombreamento produzido por dispositivos específicos para este fim, cujas dimensões estavam relacionadas com os ângulos α , β e γ (explicados anteriormente), lidos no diagrama e específicos para cada orientação. A interpretação destes ângulos indicou o formato e o dimensionamento dos elementos de sombreamento a serem implantados, concebidos na forma de brises verticais e horizontais.

Percebeu-se, no entanto, que as proteções da face Sudoeste (verticais) seriam tais que provocariam um sombreamento por completo da fachada, inclusive para períodos do ano em que ocorrem temperaturas mais amenas e quando é interessante que haja entrada de sol para aquecimento solar passivo. Uma re-

interpretação dos valores encontrados na Tabela 9 demonstrou que as temperaturas médias das 16:00h às 18:00h ultrapassam os valores máximos adotados em apenas 0,1°C em janeiro, e ficam iguais aos limites mensais em fevereiro e março.

FIGURA 23 – MÁSCARA DE SOMBRAS - MÉTODO DE OLGAY E OLGAY

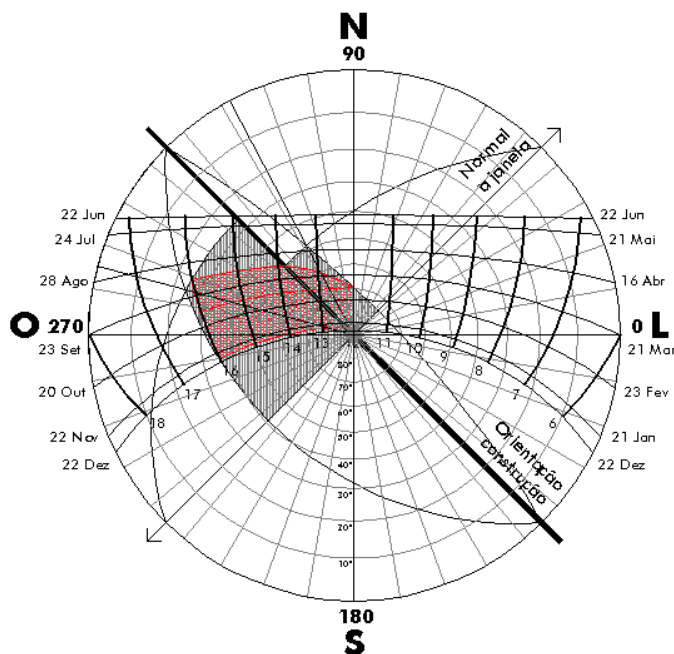


Fonte: Pesquisa

Optou-se então por desconsiderar a necessidade de proteções para esta faixa de horas (16:00 às 18:00h em janeiro, fevereiro e março), devido à diferença não ser significativa a ponto de prejudicar o conforto térmico. Segundo esta nova leitura, é preciso sombreamento até as 16:00h para os três primeiros meses do ano, de forma que se torna possível trabalhar com proteções horizontais para ambas as faces. A nova máscara de sombras passou então a ter a configuração representada na Figura 24, também exemplificada pela orientação do eixo da escola para NW-SE (janelas para NE-SW).

Partiu-se então para a verificação da contribuição que os brises, dimensionados conforme os ângulos dos diagramas, teriam também sobre as condições de iluminação em todas as orientações previamente analisadas.

FIGURA 24 – NOVA MÁSCARA DE SOMBRAS EIXO NW-SE- MÉTODO DE OLGAYAY E OLGAYAY



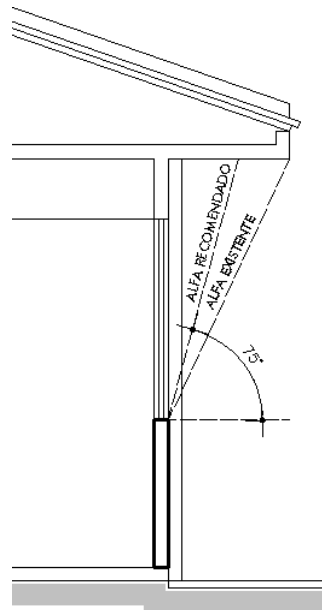
Fonte: Pesquisa

Retornando-se ao modelo do Ecotect, foram inseridas proteções solares nas janelas, dimensionadas conforme os ângulos encontrados para cada orientação. No caso da máscara da figura 24 (janelas NE-SW), obteve-se para Nordeste $\alpha = 75^\circ$, $\beta = 15^\circ$, $\gamma = 50^\circ$ e para Sudoeste $\alpha = 40^\circ$, $\beta = 30^\circ$ e $\gamma = 25^\circ$.

Na fachada NE, o ângulo α equivale a um plano horizontal de 40cm sobre a janela ou a um beiral de 52cm, capaz de proteger as janelas das 12:00h até aproximadamente 14:00h. Uma vez que a própria construção apresenta um beiral de 90cm, este já é suficiente para controlar a insolação nos horários desejados e contribuir para a adequação térmica dos ambientes com aberturas para este lado (figura 25).

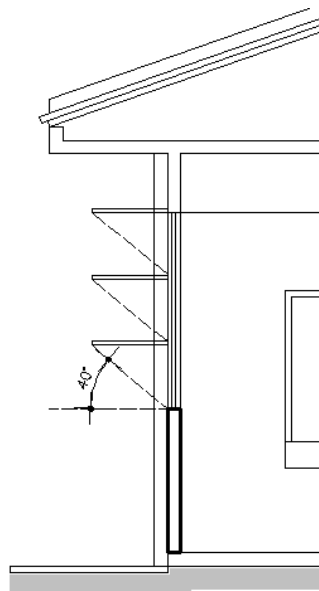
Na face Sudoeste, o ângulo α resultou em uma proteção horizontal de 180cm, que foi reproduzida sob a forma de três brises com 60cm de profundidade, atingindo toda a largura da janela, posicionados a 50 cm de distância entre cada um, como pode ser visto na Figura 26.

FIGURA 25 – CORTE – BEIRAL E JANELA PARA NORDESTE



Fonte: Pesquisa

FIGURA 26 – CORTE – BRISES HORIZONTAIS EM JANELA PARA SUDOESTE

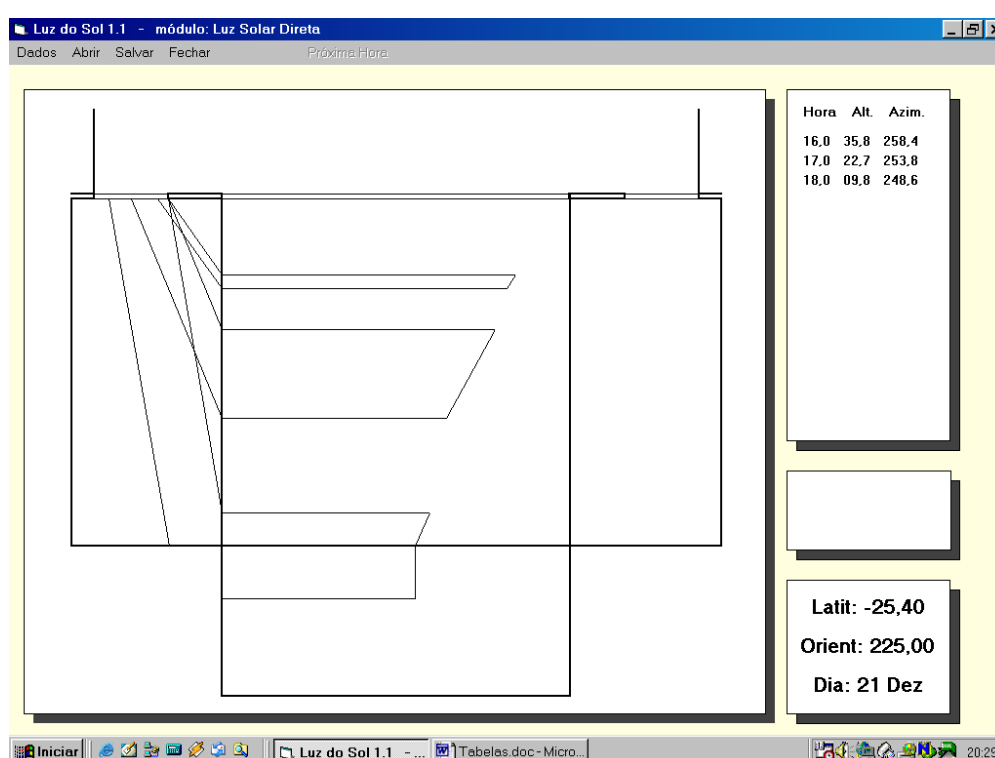


Fonte: Pesquisa

Dimensionadas as proteções, estas foram simuladas no software Luz do Sol para verificar se realmente atendiam às necessidades nos horários verificados.

A Figura 27 demonstra a simulação, no Luz do Sol, da situação das salas de aula com janela para Sudoeste no dia 21 de dezembro, com os brises nas janelas. Como pode ser visto à direita da tela, o programa indica haver insolação direta nesta face somente após as 16:00h (16:00h, 17:00h e 18:00h), com a luz incidindo e formando os “desenhos” nos pisos e paredes da sala (representada planificada no quadro maior). Os raios solares penetrando somente deste horário em diante mostram que o dimensionamento das proteções foi feito corretamente.

FIGURA 27 – SOFTWARE LUZ DO SOL – SIMULAÇÃO DE INCIDÊNCIA SOLAR



Fonte: Pesquisa

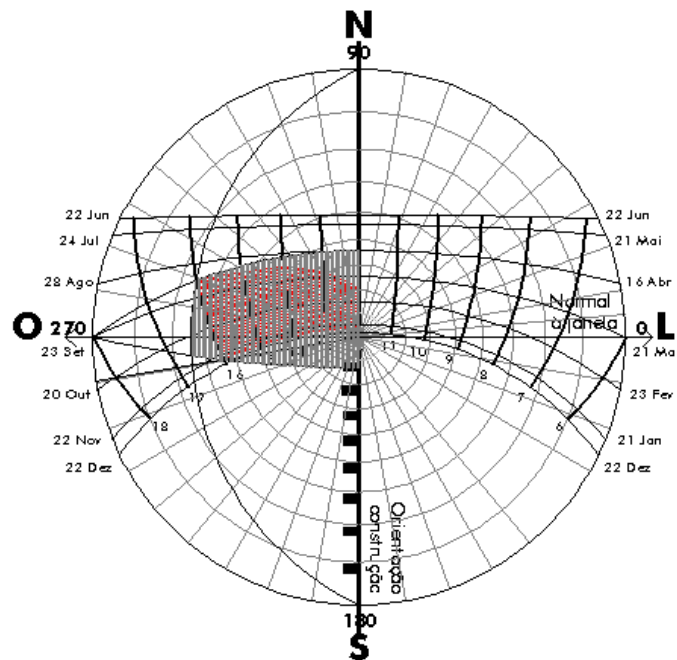
Confirmada a validade e a eficiência dos elementos de sombreamento e dos procedimentos para seu dimensionamento, as novas situações tiveram os dados exportados novamente para o Radiance.

Seguindo os mesmos procedimentos para as demais orientações do eixo da construção, determinou-se o dimensionamento de proteções específicas para cada fachada. Dessa forma, com o eixo central da construção orientado para N-S (janelas para E-W), a máscara de sombras apontou $\alpha = 25^\circ$, $\beta = 80^\circ$, $\gamma_1 = 55^\circ$ e $\gamma_2 = 75^\circ$, para os dispositivos da fachada Oeste, como pode ser visto na Figura 28. A configuração

da máscara aponta para a necessidade de proteção apenas na fachada Oeste, onde há ocorrência de temperaturas acima do recomendado.

Como conseqüência destes ângulos, foram inseridos nas aberturas desta fachada quatro brises horizontais de aproximadamente 80 cm de profundidade, com largura igual à da construção e distantes verticalmente um do outro em 35 cm. A fachada Leste não possui horários que apresentam faixas de temperaturas acima da temperatura limite recomendada. Não se fazem necessárias, segundo o método de Olgay e Olgay (1957), outros elementos para proteção contra os ganhos solares diretos, com o próprio beiral já sendo suficiente para isso.

FIGURA 28 –MÁSCARA DE SOMBRAS EIXO N-S - MÉTODO DE OLGAY E OLGAY



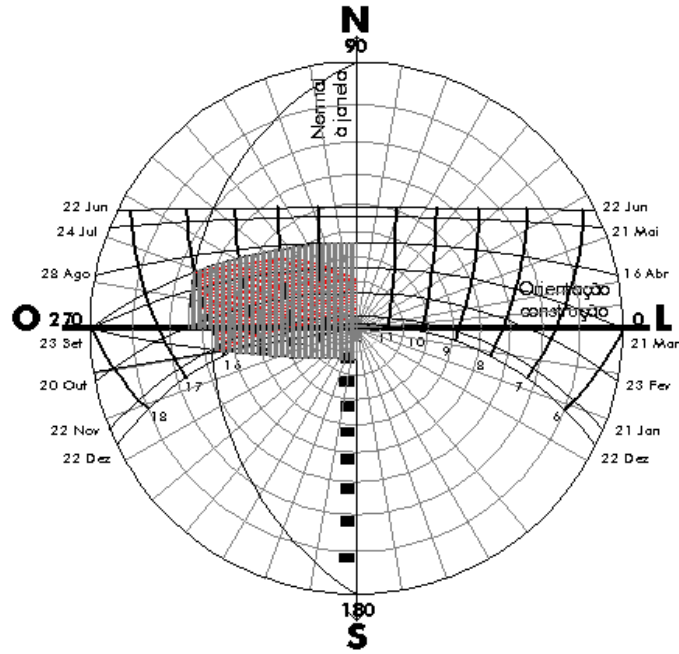
Fonte: Pesquisa

Para o eixo E-W (janelas para N-S), a máscara de sombras (Figura 29) indica os ângulos $\alpha = 55^\circ$, $\gamma_1 = 90^\circ$ e $\gamma_2 = 25^\circ$ relativos às proteções das janelas voltadas para Norte. Para a fachada Sul, foram encontrados os valores $\alpha = 75^\circ$, $\beta = 10^\circ$, $\gamma_1 = 35^\circ$ e $\gamma_2 = 90^\circ$.

De acordo com os ângulos, foram criados dispositivos de sombreamento para a fachada Norte, na forma de três brises horizontais de 35 cm de profundidade, largura igual à da construção e distantes um do outro em 48 cm, na vertical. Na

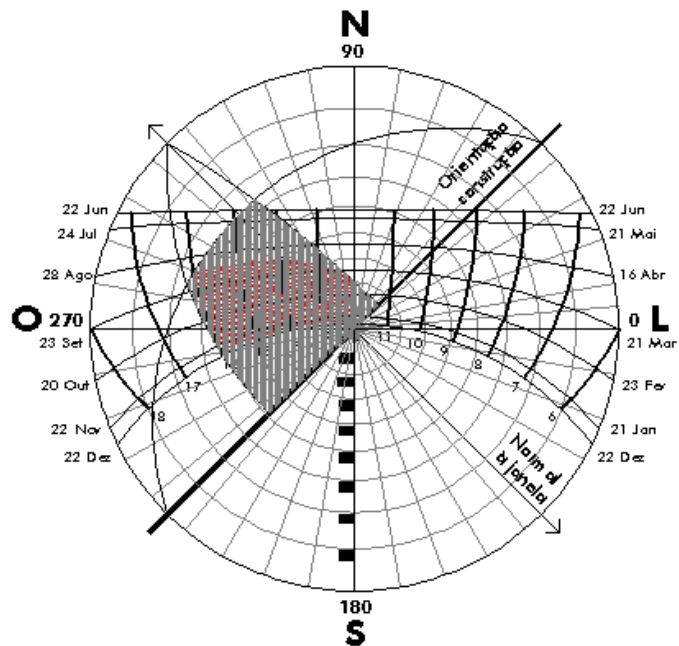
fachada sul, o próprio beiral já configura um elemento de sombras maior do que o necessário, sendo então suficiente para a proteção solar do ambiente.

FIGURA 29 –MÁSCARA DE SOMBRAS EIXO E-W - MÉTODO DE OLGAYAY E OLGAYAY



Fonte: Pesquisa

FIGURA 30 –MÁSCARA DE SOMBRAS EIXO NE-SW - MÉTODO DE OLGAYAY E OLGAYAY



Fonte: Pesquisa

No eixo NE-SW (janelas para NW-SE), os ângulos encontrados na respectiva máscara (Figura 30) foram $\alpha = 25^\circ$, $\gamma_1 = 75^\circ$ e $\gamma_2 = 40^\circ$ para janelas Noroeste. Para Sudeste, o diagrama mostrou não haver necessidade de proteções adicionais, além do próprio beiral da construção. Para a proteção solar, foram então inseridos quatro brises na fachada NW do modelo, cada qual com aproximadamente 80 cm de profundidade, largura igual à da construção e distantes entre si verticalmente em cerca de 35 cm.

Em um primeiro momento, estudou-se os ganhos com a utilização de alumínio branco como material de constituição dos dispositivos. A intenção era detectar se havia alguma influência na redução das iluminâncias internas, mas não foram percebidas melhoras substanciais nas condições de iluminação, devido às características refletivas da cor empregada.

Partiu-se então para simulações com brises cujas superfícies apresentassem cores com menor índice de refletância, definindo-se então a cor cinza (similar à encontrada no concreto aparente) para este fim. Com estas especificações, houve sensível diferença quanto aos valores das iluminâncias internas encontrados sobre os planos de trabalho, em todas as orientações.

A Tabela 10 demonstra o comportamento luminoso da construção com a existência de brises na fachada Norte, conforme determinado pela máscara de sombras.

No verão, a colocação de brises na fachada com janelas para Norte, orientação que demonstrou necessidade de proteções solares, elevou para 25% o número de carteiras na faixa entre 500 e 700 lux e apresentou 10% com iluminâncias entre 300 e 500 lux. Nesta situação, a orientação Norte continuou apresentando melhores condições que a fachada Sul.

No inverno, assim como na condição sem brises, a orientação (das aberturas) Sul continuou demonstrando melhores resultados que a fachada Norte. A fachada com janelas voltadas para Norte, mesmo com os dispositivos de sombreamento nas janelas, apresentou apenas 1% do total de carteiras em faixas adequadas de iluminâncias.

Principalmente nesta situação com janelas para Norte, no inverno, é possível perceber uma grande redução no nível de iluminância dos planos de trabalho que estavam localizados nas faixas mais altas, após a inserção dos brises. Apesar disto,

a maior parte dos móveis continuou sendo submetida a iluminâncias superiores aos valores definidos como adequados.

TABELA 10 – DISTRIBUIÇÃO DE CARTEIRAS POR FAIXA DE ILUMINÂNCIA, COM BRISES NA FACHADA NORTE – N-S

DISTRIBUIÇÃO DE CARTEIRAS POR FAIXAS DE ILUMINÂNCIA PARA OS SOLSTÍCIOS DE VERÃO E DE INVERNO, NAS ORIENTAÇÕES NORTE E SUL, COM BRISES N, EM PORCENTAGEM																
lux	VERÃO								INVERNO							
	NORTE				SUL				NORTE				SUL			
	% carteiras			TOTAL	% carteiras			TOTAL	% carteiras			TOTAL	% carteiras			TOTAL
	9h	12h	15h		9h	12h	15h		9h	12h	15h		9h	12h	15h	
0-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
100-300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
300-500	31%	-	-	10%	-	-	-	-	-	-	-	-	50%	-	33%	28%
500-700	26%	-	50%	25%	31%	-	10%	13%	-	-	2%	1%	21%	50%	19%	30%
700-900	24%	-	24%	16%	19%	-	29%	16%	-	-	-	-	29%	7%	26%	21%
900-1100	19%	-	26%	15%	2%	-	12%	5%	5%	-	19%	8%	-	43%	21%	21%
1100-1300	-	29%	-	10%	14%	-	14%	10%	21%	-	14%	12%	-	-	-	-
1300-1500	-	14%	-	5%	-	33%	2%	12%	12%	33%	5%	17%	-	-	-	-
1500-1700	-	19%	-	6%	7%	12%	-	6%	7%	-	12%	6%	-	-	-	-
1700-1900	-	12%	-	4%	21%	5%	26%	17%	7%	17%	2%	9%	-	-	-	-
1900-2100	-	26%	-	9%	5%	50%	7%	21%	48%	-	45%	31%	-	-	-	-
2100-2300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2300-2500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2500-2700	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17%	-	6%	-	-	-	-
2700-2900	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2900-3100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3100-3300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3300-3500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3500-3700	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3700-3900	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
>3900	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33%	-	11%	-	-	-	-
TOTAL	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Fonte: Pesquisa

Na Tabela 11, podem ser visualizados os novos resultados referentes à implantação da construção com janelas voltadas para Leste e Oeste, e com as respectivas proteções.

No verão, as janelas Oeste, agora equipadas com brises, proporcionam iluminação adequada a 32% das carteiras, com iluminâncias entre 300 e 500 lux e a 19%, com iluminâncias entre 500 e 700 lux.

No inverno, nesta orientação, tem-se 37% das carteiras localizadas na faixa entre 300 e 500 lux e 15% localizadas na faixa entre 500 e 700 lux. Também

percebeu-se a ocorrência de 31% das carteiras na classificação entre 100 e 300 lux. Esta forma de implantação do edifício continua demonstrando um certo equilíbrio entre as orientações opostas, embora a diferença na qualidade de iluminação entre as salas Leste e Oeste tenha aumentado devido às melhoras verificadas na fachada Oeste.

TABELA 11 – DISTRIBUIÇÃO DE CARTEIRAS POR FAIXA DE ILUMINÂNCIA, COM BRISES NA FACHADA OESTE – E-W

DISTRIBUIÇÃO DE CARTEIRAS POR FAIXAS DE ILUMINÂNCIA PARA OS SOLSTÍCIOS DE VERÃO E DE INVERNO, NAS ORIENTAÇÕES LESTE E OESTE, COM BRISES W, EM PORCENTAGEM																
lux	VERÃO								INVERNO							
	LESTE				OESTE				LESTE				OESTE			
	% carteiras			TOTAL	% carteiras			TOTAL	% carteiras			TOTAL	% carteiras			TOTAL
	9h	12h	15h		9h	12h	15h		9h	12h	15h		9h	12h	15h	
0-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
100-300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	93%	-	-	31%
300-500	-	-	-	-	95%	-	-	32%	-	-	33%	11%	7%	93%	10%	37%
500-700	-	-	33%	11%	5%	17%	36%	19%	-	33%	19%	17%	-	7%	38%	15%
700-900	-	-	17%	6%	-	67%	14%	27%	-	17%	16%	11%	-	-	17%	6%
900-1100	-	-	33%	11%	-	17%	17%	11%	-	5%	33%	12%	-	-	36%	12%
1100-1300	-	-	7%	2%	-	-	17%	6%	-	12%	-	4%	-	-	-	-
1300-1500	-	2%	10%	4%	-	-	10%	3%	2%	2%	-	2%	-	-	-	-
1500-1700	24%	12%	-	12%	-	-	7%	2%	10%	26%	-	12%	-	-	-	-
1700-1900	10%	5%	-	5%	-	-	-	-	12%	5%	-	6%	-	-	-	-
1900-2100	2%	14%	-	6%	-	-	-	-	12%	-	-	4%	-	-	-	-
2100-2300	10%	2%	-	4%	-	-	-	-	10%	-	-	3%	-	-	-	-
2300-2500	5%	14%	-	6%	-	-	-	-	14%	-	-	5%	-	-	-	-
2500-2700	-	-	-	-	-	-	-	-	2%	-	-	1%	-	-	-	-
2700-2900	-	17%	-	6%	-	-	-	-	2%	-	-	1%	-	-	-	-
2900-3100	-	-	-	-	-	-	-	-	7%	-	-	2	-	-	-	-
3100-3300	17%	-	-	6%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3300-3500	-	-	-	-	-	-	-	-	2%	-	-	1%	-	-	-	-
3500-3700	-	17%	-	6%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3700-3900	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
>3900	33%	17%	-	17%	-	-	-	-	26%	-	-	9%	-	-	-	-
TOTAL	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Fonte: Pesquisa

Na implantação com janelas para Noroeste e Sudeste, visualizada na Tabela 12, fizeram-se necessárias proteções somente para face Noroeste, de acordo com o método de Olgyay e Olgyay (1957).

Aplicando, então, os brises dimensionados segundo a máscara de sombras equivalente, esta face indicou uma ocorrência de 33% de carteiras com iluminância

entre 300 e 500 lux e 28% entre 500 e 700 lux no solstício de verão. Nesta data, 2% das carteiras ficaram entre 100 e 300 lux e, portanto, abaixo dos limites estabelecidos.

No solstício de inverno, 7% do total de carteiras recebeu entre 300 e 500 lux e 13% recebeu entre 500 e 700 lux. Assim como no verão, uma parcela das carteiras apresentou iluminâncias abaixo do adequado, com 29% situando-se na faixa entre 100 e 300 lux.

TABELA 12 – DISTRIBUIÇÃO DE CARTEIRAS POR FAIXA DE ILUMINÂNCIA, COM BRISES NA FACHADA NOROESTE – NW-SE

DISTRIBUIÇÃO DE CARTEIRAS POR FAIXAS DE ILUMINÂNCIA PARA OS SOLSTÍCIOS DE VERÃO E DE INVERNO, NAS ORIENTAÇÕES NOROESTE E SUDESTE, COM BRISES NW, EM PORCENTAGEM																
VERÃO									INVERNO							
lux	NOROESTE				SUDESTE				NOROESTE				SUDESTE			
	% carteiras			TOTAL	% carteiras			TOTAL	% carteiras			TOTAL	% carteiras			TOTAL
	9h	12h	15h		9h	12h	15h		9h	12h	15h		9h	12h	15h	
0-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
100-300	7%	-	-	2%	-	-	-	-	88%	-	-	29%	-	-	-	-
300-500	90%	-	7%	33%	-	-	-	-	12%	10%	-	7%	40%	7%	33%	27%
500-700	2%	38%	43%	28%	-	-	33%	11%	-	40%	-	13%	12%	43%	19%	25%
700-900	-	48%	17%	21%	-	-	17%	6%	-	2%	31%	11%	14%	17%	21%	17%
900-1100	-	14%	19%	11%	5%	-	17%	7%	-	14%	19%	11%	33%	-	26%	20%
1100-1300	-	-	10%	3%	29%	2%	-	10%	-	24%	12%	12%	-	33%	-	11%
1300-1500	-	-	5%	2%	2%	26%	29%	19%	-	10%	5%	5%	-	-	-	-
1500-1700	-	-	-	-	14%	17%	5%	12%	-	-	5%	2%	-	-	-	-
1700-1900	-	-	-	-	-	5%	-	2%	-	-	21%	7%	-	-	-	-
1900-2100	-	-	-	-	5%	-	-	2%	-	-	7%	2%	-	-	-	-
2100-2300	-	-	-	-	12%	2%	-	5%	-	-	-	-	-	-	-	-
2300-2500	-	-	-	-	-	12%	-	4%	-	-	-	-	-	-	-	-
2500-2700	-	-	-	-	-	2%	-	1%	-	-	-	-	-	-	-	-
2700-2900	-	-	-	-	2%	-	-	1%	-	-	-	-	-	-	-	-
2900-3100	-	-	-	-	14%	-	-	5%	-	-	-	-	-	-	-	-
3100-3300	-	-	-	-	17%	-	-	6%	-	-	-	-	-	-	-	-
3300-3500	-	-	-	-	-	17%	-	6%	-	-	-	-	-	-	-	-
3500-3700	-	-	-	-	-	10%	-	3%	-	-	-	-	-	-	-	-
3700-3900	-	-	-	-	-	2%	-	1%	-	-	-	-	-	-	-	-
>3900	-	-	-	-	-	5%	-	2%	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Fonte: Pesquisa

A Tabela 13 mostra os valores encontrados com janelas voltadas para Nordeste e Sudoeste. Neste caso, os procedimentos demonstraram haver necessidade de controle solar somente na fachada Sudoeste. Esta indicou, no

verão, a existência de 19% de carteiras classificadas entre 300 e 500 lux e 29% das carteiras classificadas entre 500 e 700 lux. Nesta data, não houve planos de trabalho com níveis de iluminância abaixo do recomendado.

No inverno, 10 % das carteiras se situaram na faixa entre 100 e 300 lux. No entanto, 57% ficou entre 300 e 500 lux e 26% entre 500 e 700 lux, mostrando que a grande maioria dos móveis recebe iluminâncias adequadas nesta situação.

TABELA 13 – DISTRIBUIÇÃO DE CARTEIRAS POR FAIXA DE ILUMINÂNCIA, COM BRISÉS NA FACHADA SUDOESTE – NE-SW

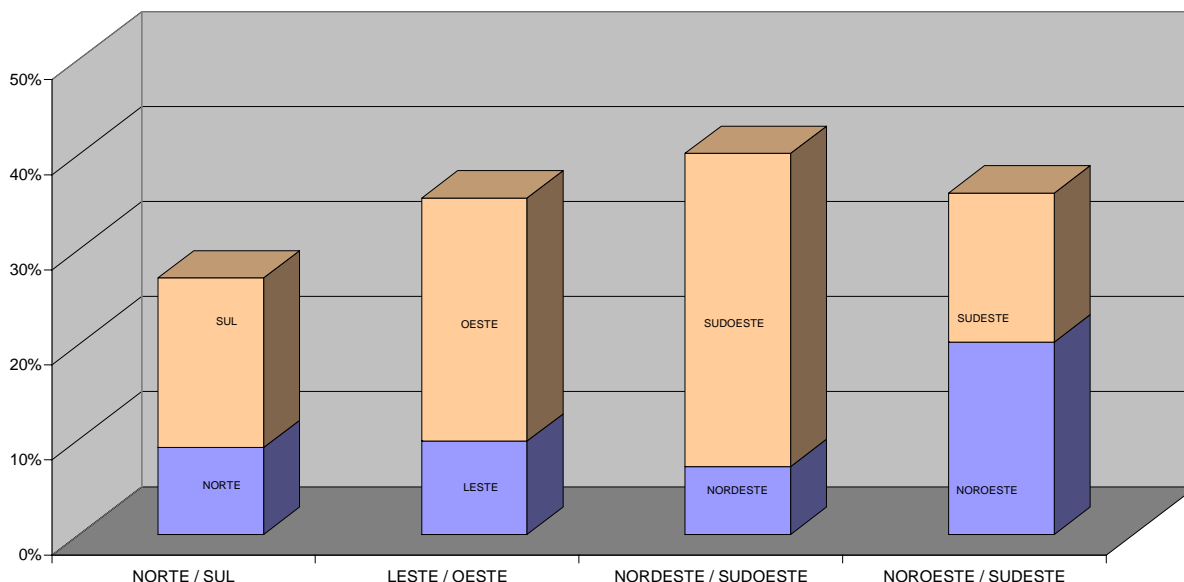
DISTRIBUIÇÃO DE CARTEIRAS POR FAIXAS DE ILUMINÂNCIA PARA OS SOLSTÍCIOS DE VERÃO E DE INVERNO, NAS ORIENTAÇÕES NORDESTE E SUDOESTE, COM BRISÉS SW, EM PORCENTAGEM																
lux	VERÃO								INVERNO							
	NORDESTE				SUDOESTE				NORDESTE				SUDOESTE			
	% carteiras			TOTAL	% carteiras			TOTAL	% carteiras			TOTAL	% carteiras			TOTAL
	9h	12h	15h		9h	12h	15h		9h	12h	15h		9h	12h	15h	
0-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
100-300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	31%	-	-	10%
300-500	-	-	-	-	50%	-	7%	19%	-	-	26%	9%	69%	52%	50%	57%
500-700	-	-	36%	12%	45%	-	43%	29%	-	-	24%	8%	-	45%	33%	26%
700-900	21%	-	14%	12%	5%	-	17%	7%	-	-	17%	6%	-	2%	17%	6%
900-1100	17%	-	17%	11%	-	43%	19%	21%	-	-	-	-	-	-	-	-
1100-1300	12%	10%	-	7%	-	10%	10%	6%	-	2%	17%	6%	-	-	-	-
1300-1500	2%	24%	12%	13%	-	33%	5%	13%	-	31%	17%	16%	-	-	-	-
1500-1700	7%	-	21%	10%	-	12%	-	4%	-	2%	-	1%	-	-	-	-
1700-1900	7%	12%	-	6%	-	2%	-	1%	-	12%	-	4%	-	-	-	-
1900-2100	33%	5%	-	13%	-	-	-	-	-	2%	-	1%	-	-	-	-
2100-2300	-	2%	-	1%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2300-2500	-	2%	-	1%	-	-	-	-	-	2%	-	1%	-	-	-	-
2500-2700	-	12%	-	4%	-	-	-	-	-	14%	-	5%	-	-	-	-
2700-2900	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2900-3100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3100-3300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5%	-	2%	-	-	-	-
3300-3500	-	5%	-	2%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3500-3700	-	12%	-	4%	-	-	-	-	17%	-	-	6%	-	-	-	-
3700-3900	-	2%	-	1%	-	-	-	-	21%	12%	-	11%	-	-	-	-
>3900	-	14%	-	5%	-	-	-	-	62%	17%	-	26%	-	-	-	-
TOTAL	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Fonte: Pesquisa

O gráfico da Figura 31 permite a identificação da condição que apresenta melhor desempenho, assim como as diferenças entre as possibilidades de implantação e o grau de equilíbrio entre as fachadas opostas, na mesma orientação. Quando comparado com o gráfico da Figura 21, podem ser percebidas melhorias

com relação à situação sem brises.

FIGURA 31 – GRÁFICO DE PORCENTAGEM DE CARTEIRAS POR ORIENTAÇÃO SOLAR COMBINADA, COM BRISES



Fonte: Pesquisa

De posse dos dados obtidos e como forma de demonstrar de maneira mais eficiente a condição de equilíbrio entre fachadas opostas, fez-se uso de uma razão numérica. Utilizando os números absolutos (nesse caso, não as porcentagens) referentes ao posicionamento das carteiras em cada faixa, dividiu-se a quantidade de carteiras adequadas da sala que possuía menos ocorrências pela quantidade de carteiras adequadas da sala que possuía mais ocorrências.

Por exemplo, tomar-se-ia o número de carteiras adequadas da sala hipotética “A” (10) e dividir-se-ia pela quantidade da sala “B” oposta (20). Se a sala “B” possuísse menos carteiras que “A”, a operação seria inversa. Neste caso, $A/B = 0,5$. A razão desta orientação seria 0,5, valor que poderia ser comparado diretamente com as razões das demais orientações. Adotando-se este princípio, quanto mais próximo de “1” (um), maior será a condição de equilíbrio entre as iluminâncias das salas opostas.

Obteve-se como resultado, na situação padrão (sem brises), os seguintes índices: 1) orientação N-S = 0,32; 2) orientação E-W = 0,70; 3) orientação NW-SE = 0,58 e 4) orientação NE-SW = 0,45. Na condição da construção com brises, os

valores ficaram em: 1) orientação N-S = 0,51; 2) orientação E-W = 0,39; 3) orientação NW-SE = 0,77 e 4) orientação NE-SW = 0,22.

Conhecidos os desempenhos da construção para a condição padrão – sem brises – e para a condição com brises nas fachadas que poderiam vir a ter problemas térmicos internos por incidência solar direta, adotou-se a configuração com brises – capaz de reduzir os níveis de iluminação – para simulações com céu encoberto. Desta forma, foi possível verificar o comportamento desta configuração também para situações com menor oferta de luz natural.

TABELA 14 – DISTRIBUIÇÃO DE CARTEIRAS POR FAIXA DE ILUMINÂNCIA, COM BRISES NA FACHADA NORTE E CÉU ENCOBERTO – N-S

DISTRIBUIÇÃO DE CARTEIRAS POR FAIXAS DE ILUMINÂNCIA PARA OS SOLSTÍCIOS DE VERÃO E DE INVERNO, NAS ORIENTAÇÕES NORTE E SUL, EM PORCENTAGEM																
lux	VERÃO								INVERNO							
	NORTE				SUL				NORTE				SUL			
	% carteiras			TOTAL	% carteiras			TOTAL	% carteiras			TOTAL	% carteiras			TOTAL
	9h	12h	15h		9h	12h	15h		9h	12h	15h		9h	12h	15h	
0-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
100-300	45%	-	50%	32%	5%	-	-	2%	83%	50%	69%	67%	50%	29%	50%	43%
300-500	29%	50%	26%	35%	45%	33%	50%	43%	17%	26%	31%	25%	17%	21%	17%	18%
500-700	26%	26%	24%	25%	14%	17%	7%	13%	-	24%	-	8%	21%	17%	10%	16%
700-900	-	14%	-	5%	2%	7%	10%	6%	-	-	-	-	12%	-	19%	10%
900-1100	-	10%	-	3%	5%	10%	-	5%	-	-	-	-	-	17%	5%	7%
1100-1300	-	-	-	-	26%	-	19%	15%	-	-	-	-	-	10%	-	3%
1300-1500	-	-	-	-	2%	2%	7%	4%	-	-	-	-	-	7%	-	2%
1500-1700	-	-	-	-	-	17%	-	6%	-	-	-	-	-	-	-	-
1700-1900	-	-	-	-	-	2%	5%	2%	-	-	-	-	-	-	-	-
1900-2100	-	-	-	-	-	12%	2%	5%	-	-	-	-	-	-	-	-
2100-2300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2300-2500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2500-2700	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2700-2900	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2900-3100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3100-3300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3300-3500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3500-3700	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3700-3900	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
>3900	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Fonte: Pesquisa

Nestas condições, com níveis de iluminação externos menores, sobretudo no inverno, e sem incidência direta de sol, grande parte dos planos de trabalho passa a apresentar níveis de iluminância menores que o recomendado, principalmente

quando há brises nas janelas.

A Tabela 14 relaciona os resultados encontrados com céu encoberto nas salas com janelas voltadas para Norte e Sul (eixo da construção Leste-Oeste) e brises na fachada Norte. No verão, a fachada Norte apresentou 32% de carteiras entre 100 e 300 lux, 35% entre 300 e 500 lux e 25% entre 500 e 700 lux, somando-se todos os horários. A fachada Sul apresentou 2% entre 100 e 300 lux, 43% entre 300 e 500 lux e 13% entre 500 e 700 lux. O restante de planos de trabalho continuou em faixas de valores acima do ideal.

TABELA 15 – DISTRIBUIÇÃO DE CARTEIRAS POR FAIXA DE ILUMINÂNCIA, COM BRISES NA FACHADA OESTE E CÉU ENCOBERTO – E-W

DISTRIBUIÇÃO DE CARTEIRAS POR FAIXAS DE ILUMINÂNCIA PARA OS SOLSTÍCIOS DE VERÃO E DE INVERNO, NAS ORIENTAÇÕES LESTE E OESTE, EM PORCENTAGEM																
lux	VERÃO								INVERNO							
	LESTE				OESTE				LESTE				OESTE			
	% carteiras			TOTAL	% carteiras			TOTAL	% carteiras			TOTAL	% carteiras			TOTAL
9h	12h	15h	9h		12h	15h	9h		12h	15h	9h		12h	15h		
0-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	67%	-	26%	31%
100-300	5%	-	-	2%	100%	83%	98%	94%	50%	29%	50%	43%	33%	100%	74%	69%
300-500	45%	33%	50%	43%	-	17%	2%	6%	17%	21%	17%	18%	-	-	-	-
500-700	14%	17%	7%	13%	-	-	-	-	21%	17%	10%	16%	-	-	-	-
700-900	2%	7%	10%	6%	-	-	-	-	12%	-	19%	10%	-	-	-	-
900-1100	5%	10%	-	5%	-	-	-	-	-	17%	5%	7%	-	-	-	-
1100-1300	26%	-	19%	15%	-	-	-	-	-	10%	-	3%	-	-	-	-
1300-1500	2%	2%	7%	4%	-	-	-	-	-	7%	-	2%	-	-	-	-
1500-1700	-	17%	-	6%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1700-1900	-	2%	5%	2%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1900-2100	-	12%	2%	5%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2100-2300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2300-2500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2500-2700	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2700-2900	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2900-3100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3100-3300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3300-3500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3500-3700	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3700-3900	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
>3900	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Fonte: Pesquisa

No inverno, a orientação Norte teve 67% de carteiras entre 100 e 300 lux, 25% entre 300 e 500 lux e 8% entre 500 e 700 lux. A sala voltada para Sul

demonstrou 43% de carteiras entre 100 e 300 lux, 18% entre 300 e 500 lux e 16% entre 500 e 700 lux.

Na orientação de janelas para Leste-Oeste (Tabela 15), a fachada Leste apresentou, no solstício de verão, 2% de carteiras entre 100 e 300 lux, 43% entre 300 e 500 lux e 13% entre 500 e 700 lux. Na fachada Oeste, a grande maioria dos móveis se situou em faixas abaixo dos limites estabelecidos, com 94% das carteiras entre 100 e 300 lux e apenas 6% entre 300 e 500 lux.

TABELA 16 – DISTRIBUIÇÃO DE CARTEIRAS POR FAIXA DE ILUMINÂNCIA, COM BRISES NA FACHADA NOROESTE E CÉU ENCOBERTO – NW-SE

DISTRIBUIÇÃO DE CARTEIRAS POR FAIXAS DE ILUMINÂNCIA PARA OS SOLSTÍCIOS DE VERÃO E DE INVERNO, NAS ORIENTAÇÕES NOROESTE E SUDESTE, EM PORCENTAGEM																
lux	VERÃO								INVERNO							
	NOROESTE				SUDESTE				NOROESTE				SUDESTE			
	% carteiras			TOTAL	% carteiras			TOTAL	% carteiras			TOTAL	% carteiras			TOTAL
	9h	12h	15h		9h	12h	15h		9h	12h	15h		9h	12h	15h	
0-100	-	-	-	-	-	-	-	-	67%	100%	26%	64%	-	-	-	-
100-300	100%	83%	98%	94%	5%	-	-	2%	33%	-	74%	36%	50%	29%	50%	43%
300-500	-	17%	2%	6%	45%	33%	50%	43%	-	-	-	-	17%	21%	17%	18%
500-700	-	-	-	-	14%	17%	7%	13%	-	-	-	-	21%	17%	10%	16%
700-900	-	-	-	-	2%	7%	10%	6%	-	-	-	-	12%	-	19%	10%
900-1100	-	-	-	-	5%	10%	-	5%	-	-	-	-	-	17%	5%	7%
1100-1300	-	-	-	-	26%	-	19%	15%	-	-	-	-	-	10%	-	3%
1300-1500	-	-	-	-	2%	2%	7%	4%	-	-	-	-	-	7%	-	2%
1500-1700	-	-	-	-	-	17%	-	6%	-	-	-	-	-	-	-	-
1700-1900	-	-	-	-	-	2%	5%	2%	-	-	-	-	-	-	-	-
1900-2100	-	-	-	-	-	12%	2%	5%	-	-	-	-	-	-	-	-
2100-2300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2300-2500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2500-2700	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2700-2900	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2900-3100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3100-3300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3300-3500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3500-3700	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3700-3900	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
>3900	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Fonte: Pesquisa

No inverno, a sala voltada para Leste teve 43% de carteiras entre 100 e 300 lux, 18% entre 300 e 500 lux e 16% entre 500 e 700 lux. Já na sala Oeste, todas se encontraram abaixo das faixas adequadas de iluminância, com 31% recebendo

entre 0 e 100 lux e 69% recebendo entre 100 e 300 lux.

Na orientação NW-SE (Tabela 16), a sala voltada para Noroeste, no verão, teve 94% das carteiras recebendo entre 100 e 300 lux e 6% entre 300 e 500 lux, enquanto a salas voltada para Sudeste teve apenas 2% abaixo de 300 lux, 43% entre 300 e 500 lux e 13% entre 500 e 700 lux. No inverno, todas as carteiras da sala Noroeste estiveram abaixo do limite de 300 lux. A sala Sudeste apresentou 43% de carteiras abaixo de 300 lux, 18% entre 300 e 500 lux e 16% entre 500 e 700 lux.

TABELA 17 – DISTRIBUIÇÃO DE CARTEIRAS POR FAIXA DE ILUMINÂNCIA, COM BRISES NA FACHADA SUDOESTE E CÉU ENCOBERTO – NE-SW

DISTRIBUIÇÃO DE CARTEIRAS POR FAIXAS DE ILUMINÂNCIA PARA OS SOLSTÍCIOS DE VERÃO E DE INVERNO, NAS ORIENTAÇÕES NORDESTE E SUDOESTE, EM PORCENTAGEM																
lux	VERÃO								INVERNO							
	NORDESTE				SUDOESTE				NORDESTE				SUDOESTE			
	% carteiras			TOTAL L	% carteiras			TOTAL L	% carteiras			TOTAL	% carteiras			TOTAL
	9h	12h	15h		9h	12h	15h		9h	12h	15h		9h	12h	15h	
0-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
100-300	5%	-	-	2%	52%	17%	50%	40%	50%	29%	50%	43%	100%	62%	100%	87%
300-500	45%	33%	50%	43%	48%	62%	50%	53%	17%	21%	17%	18%	-	38%	-	13%
500-700	14%	17%	7%	13%	-	21%	-	7%	21%	17%	10%	16%	-	-	-	-
700-900	2%	7%	10%	6%	-	-	-	-	12%	-	19%	10%	-	-	-	-
900-1100	5%	10%	-	5%	-	-	-	-	-	17%	5%	7%	-	-	-	-
1100-1300	26%	-	19%	15%	-	-	-	-	-	10%	-	3%	-	-	-	-
1300-1500	2%	2%	7%	4%	-	-	-	-	-	7%	-	2%	-	-	-	-
1500-1700	-	17%	-	6%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1700-1900	-	2%	5%	2%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1900-2100	-	12%	2%	5%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2100-2300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2300-2500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2500-2700	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2700-2900	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2900-3100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3100-3300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3300-3500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3500-3700	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3700-3900	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
>3900	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Fonte: Pesquisa

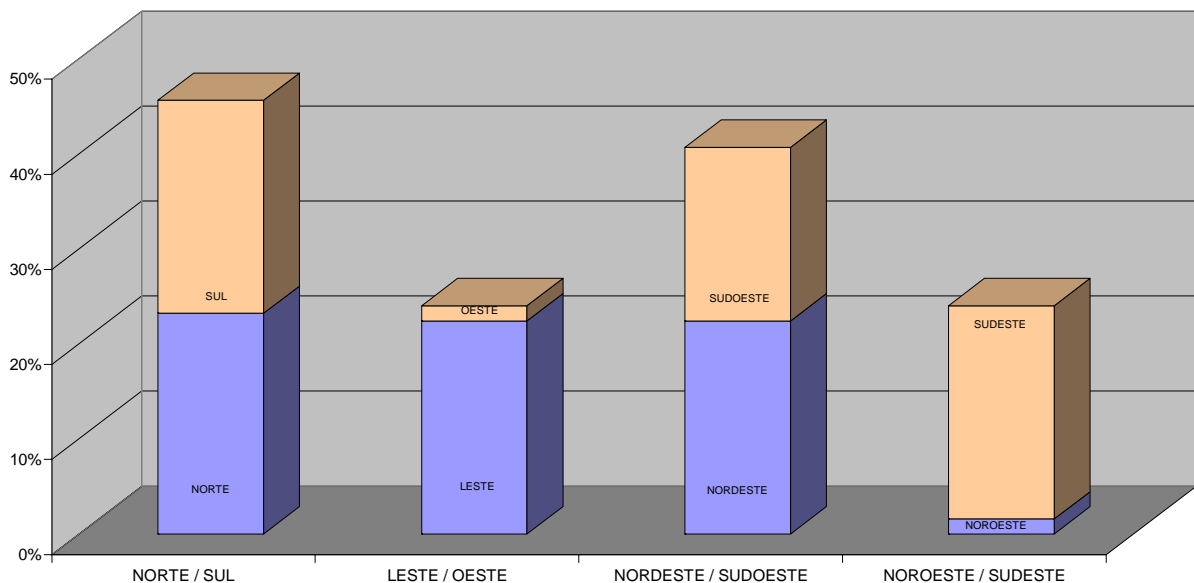
A Tabela 17 relaciona os resultados encontrados com as janelas das salas de aula voltadas para Nordeste-Sudoeste (eixo da construção Noroeste-Sudeste). Neste caso, no verão, a sala orientada para Nordeste teve apenas 2% das carteiras

na faixa entre 100 e 300 lux, 43% entre 300 e 500 lux e 13% entre 500 e 700 lux. A sala Sudoeste mostrou 40% das carteiras entre 100 e 300 lux, 53% entre 300 e 500 lux e 7% entre 500 e 700 lux.

No inverno, a sala Nordeste teve 43% das carteiras entre 100 e 300 lux, 18% entre 300 e 500 lux e 16% entre 500 e 700 lux. A sala com janelas para Sudoeste apresentou 87% das carteiras entre 100 e 300 lux e 13% entre 300 e lux, considerando-se todos os horários.

No gráfico da Figura 32, é possível perceber que o desempenho luminoso dos ambientes sem brises (salas Sul, Leste, Nordeste e Sudeste) melhora quando há menor oferta de luz, enquanto as salas com brises (Norte, Oeste, Sudoeste e Noroeste) passam a ter grande quantidade das carteiras com níveis de iluminância abaixo do recomendado, aparentando um decréscimo no seu desempenho.

FIGURA 32 – GRÁFICO DE PORCENTAGEM DE CARTEIRAS POR ORIENTAÇÃO SOLAR COMBINADA, COM BRISES E CÉU ENCOBERTO



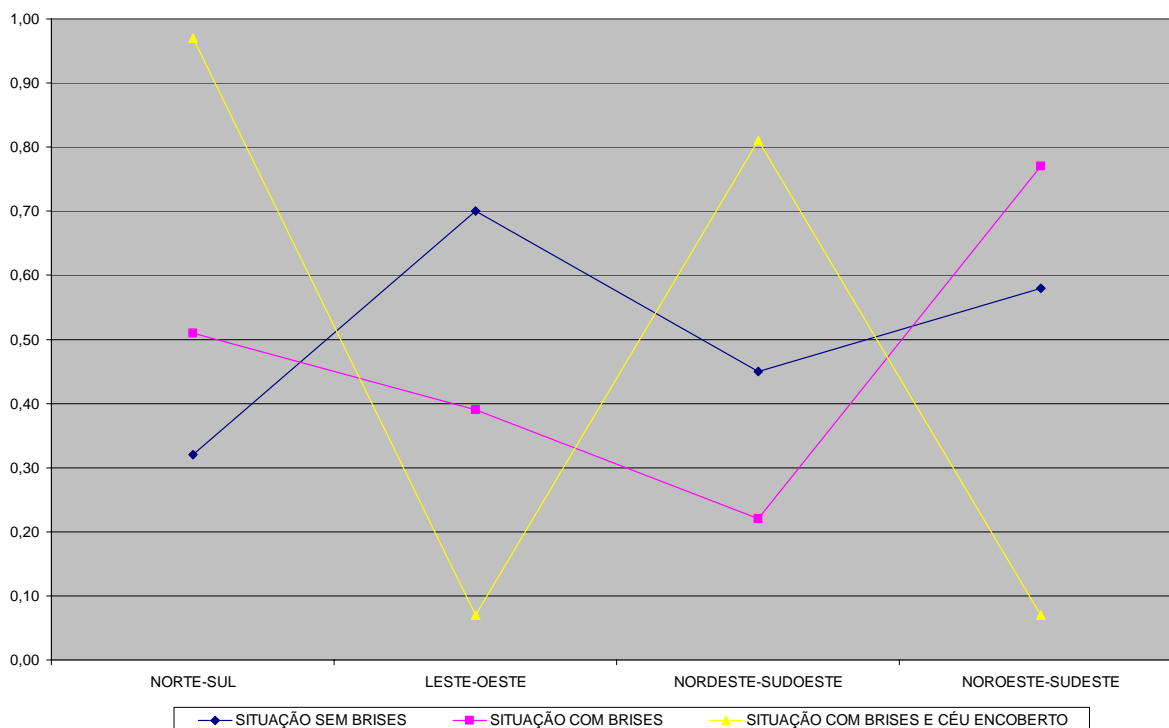
Fonte: Pesquisa

Para céu encoberto, as razões entre as fachadas passam a ser, da melhor para a pior: 1) orientação N-S = 0,97; 2) orientação NE-SW = 0,81; 3) orientação E-W = 0,07 e 4) orientação NW-SE = 0,07.

O diferente comportamento das diferentes condições (situação padrão e situação com brises em céu claro e situação com brises em céu encoberto), no que

diz respeito ao equilíbrio entre as fachadas opostas, pode ser visto no gráfico da Figura 33.

FIGURA 33 – GRÁFICO DE RAZÃO DE EQUILÍBRIO ENTRE FACHADAS OPOSTAS



Fonte: Pesquisa

A verificação de todas as combinações dia-horário-orientação, para céu claro, mostrou que a grande maioria das carteiras fica sujeita a grandes níveis de iluminância, provenientes da luz natural. Os dados encontrados são consequência direta das grandes janelas existentes nas salas, que produzem uma relação entre área envidraçada e área de parede de 0,40 (taxa WWR - *Window to Wall Ratio*).

Sabe-se que a incidência solar direta pode provocar alterações e aumentos indesejáveis na temperatura interna do ambiente. Em consonância com a necessidade de controle da luz natural, foram dimensionados brises para proteção das fachadas e controle da incidência solar, baseados na identificação de períodos do ano em que a temperatura das salas pode superar temperaturas de referência para conforto.

Uma vez que o módulo consiste de salas com orientações opostas, as cartas solares mostraram que, segundo o método de Olgyay e Olgyay (1957), somente

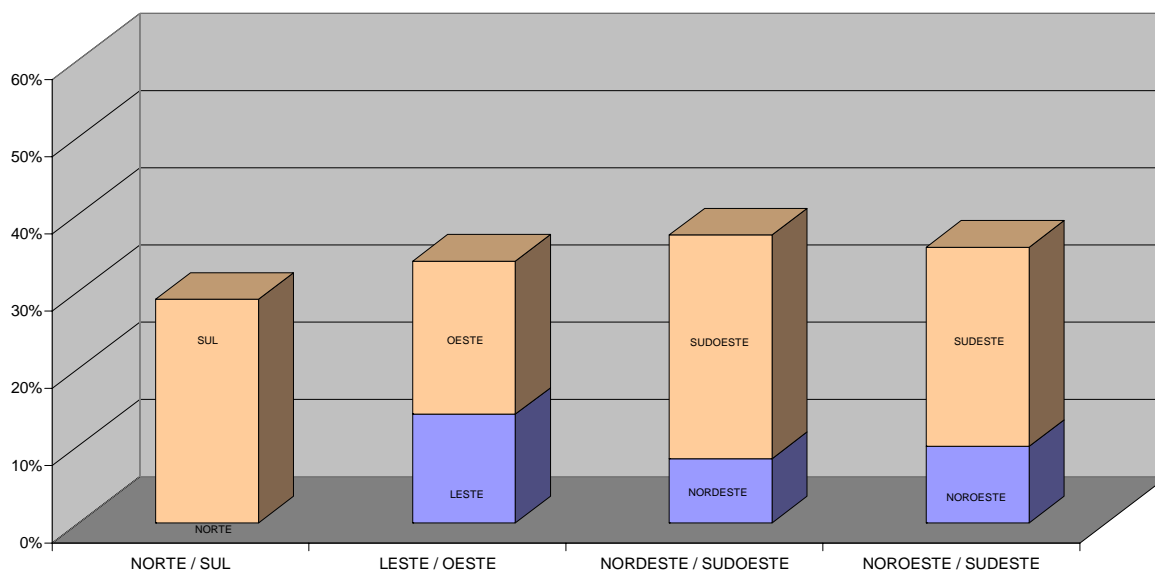
uma das faces precisaria de proteção solar, enquanto a outra já teria sua necessidade de proteção suprida pelo próprio beiral.

Para o caso de Curitiba, cidade tomada como referência para as considerações térmicas, as orientações Sul, Leste, Nordeste e Sudeste podem funcionar sem dispositivos adicionais de controle solar. Já as faces Norte, Oeste, Sudoeste e Noroeste carecem de brises para evitar problemas térmicos internos.

Naturalmente, a inserção de elementos de sombreamento nas janelas reduziu a quantidade de luz natural incidente nos espaços, conforme pode ser visto nos gráficos a seguir, separados de acordo com a estação (inverno ou verão).

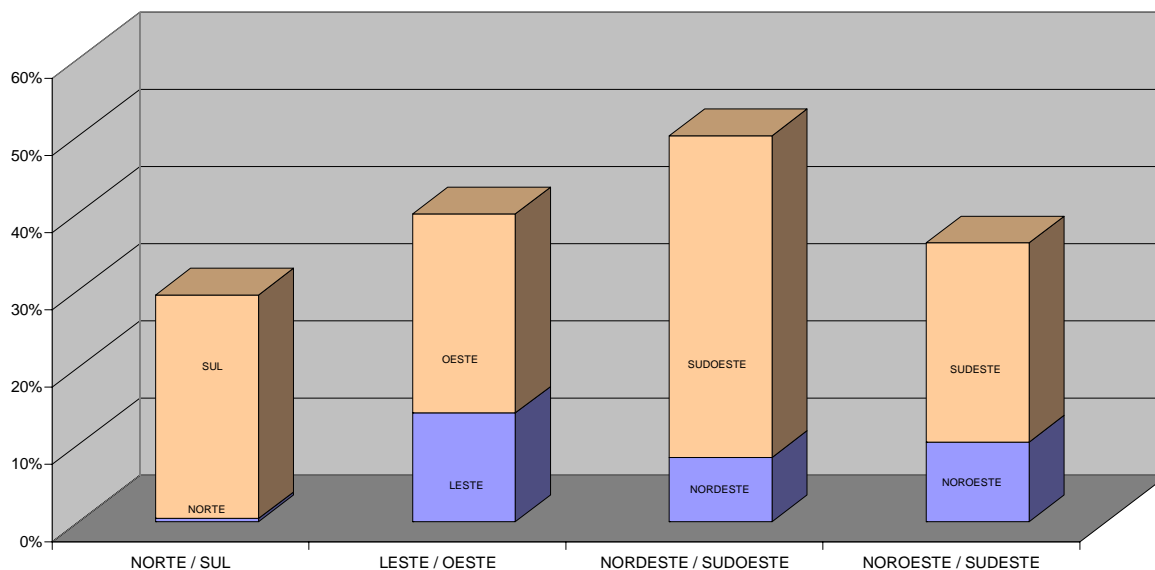
As orientações apresentadas nos gráficos se referem à posição das janelas da construção (Ex. N-S se refere a janelas voltadas para Norte e Sul). A separação do desempenho das salas entre solstício de inverno (Figuras 34 e 35) e solstício de verão (Figuras 36 e 37) demonstra as diferenças existentes entre o módulo sem brises (situação padrão) e o módulo com brises.

FIGURA 34 – GRÁFICO - QUANTIDADE DE CARTEIRAS POR ORIENTAÇÃO SOLAR COMBINADA – SITUAÇÃO PADRÃO - INVERNO



Fonte: Pesquisa

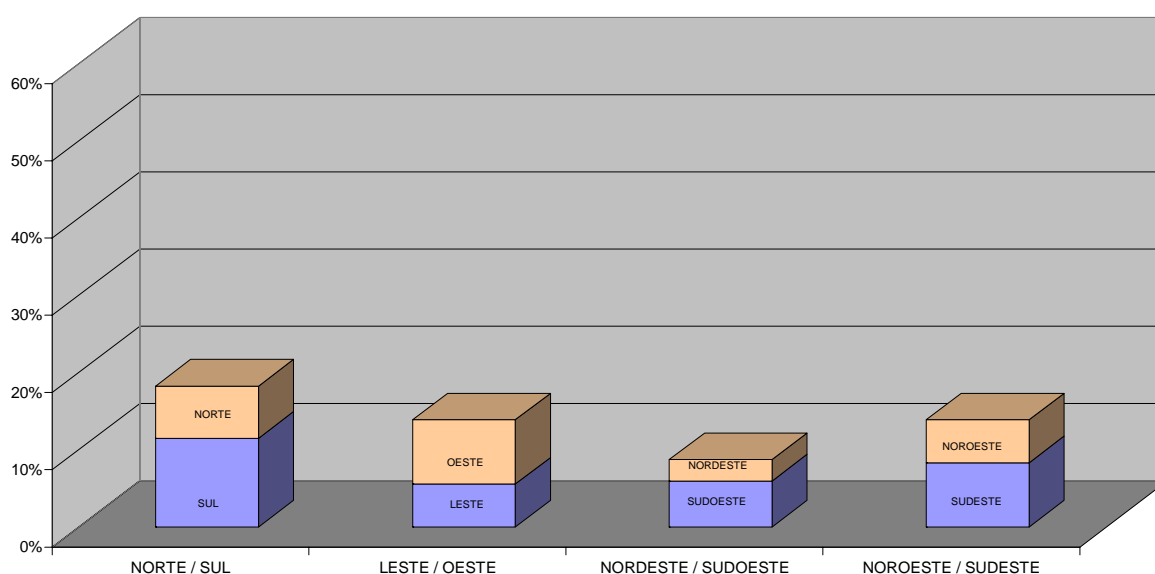
FIGURA 35 – GRÁFICO - QUANTIDADE DE CARTEIRAS POR ORIENTAÇÃO SOLAR COMBINADA – SITUAÇÃO COM BRISES - INVERNO



Fonte: Pesquisa

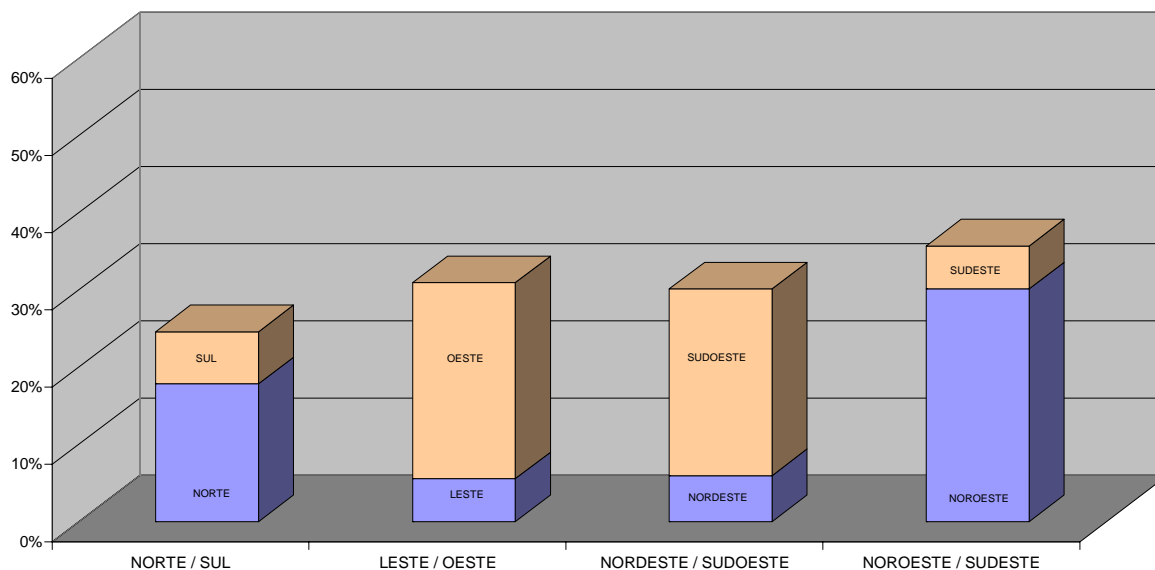
No inverno, duas das quatro posições testadas (E-W e NE-SW) apresentaram incrementos significativos do número de carteiras que recebem iluminâncias adequadas. As únicas que mantiveram resultados muito próximos aos obtidos pela construção sem brises foram as posições N-S e NW-SE, apesar de terem havido reduções entre as faixas mais altas de iluminância.

FIGURA 36 – GRÁFICO - QUANTIDADE DE CARTEIRAS POR ORIENTAÇÃO SOLAR COMBINADA – SITUAÇÃO PADRÃO - VERÃO



Fonte: Pesquisa

FIGURA 37 – GRÁFICO - QUANTIDADE DE CARTEIRAS POR ORIENTAÇÃO SOLAR COMBINADA – SITUAÇÃO COM BRISES - VERÃO



Fonte: Pesquisa

No verão, todas as quatro possibilidades de implantação tiveram sensíveis ganhos após a inserção dos brises.

De qualquer forma, os gráficos mostram haver redução das iluminâncias com conseqüente melhora dos níveis de luz internos quando existem brises, em todos os casos. As proteções solares fazem com que mais carteiras se situem dentro da faixa adequada de iluminâncias, tanto para verão como para inverno.

Assim, quando o aspecto a ser considerado é a quantidade de carteiras com bons níveis de iluminação, identifica-se a orientação de janelas NE-SW (eixo da construção NW-SE) com brises nas janelas SW, como a que apresenta maior porcentagem dentro das faixas consideradas adequadas, o que pode apontá-la como uma opção considerável para implantação, levando em conta o número máximo de planos de trabalho bem iluminados. Neste caso, a melhor eficiência se dá na face SW (com brises), no inverno, quando se consegue 69% de carteiras adequadas às 9:00h, 52% às 12:00h e 50% às 15:00h, com um valor médio de 57% para os três horários somados.

O segundo melhor desempenho, também com brises, é apresentado pela orientação E-W (eixo N-S), seguido de NW-SE (eixo NE-SW) e N-S (eixo E-W).

As situações sem brises, por sua vez, apresentam desempenhos muito

inferiores às situações com brises e muito próximos para as quatro orientações, com pequeno destaque para a posição com janelas voltadas para NW-SE (eixo NE-SW), seguido de E-W (eixo N-S), N-S (eixo E-W) e NE-SW (eixo NW-SE).

As verificações foram feitas também, com brises nas janelas, para condições de céu encoberto (CE), abordando o desempenho da construção para menor oferta de luz natural. Os resultados apontaram que os brises, protegendo os ambientes da insolação direta (e, por consequência, amenizando problemas térmicos e de excesso de iluminação), provocaram situações internas em que os planos de trabalho receberam níveis mais baixos de luz natural, chegando a índices inferiores aos mínimos recomendados.

Assim, o melhor desempenho ocorreu em salas com janelas orientadas para N-S (eixo E-W), seguida de NE-SW (eixo NW-SE), E-W (eixo N-S) e NW-SE (eixo NE-SW).

Constatou-se também que a colocação dos dispositivos de sombra em um dos lados leva a uma alteração no nível de equilíbrio entre as fachadas. As construções dotadas de brises demonstram uma diferença bem maior na distribuição da iluminação entre as salas com orientações opostas. Isto ocorre devido às salas sem brises continuarem tendo o mesmo desempenho luminoso, enquanto as salas com brises sofrem um incremento na qualidade luminosa.

O desequilíbrio é condição da tipologia do projeto, em que uma sala naturalmente apresenta comportamento distinto da sala voltada para a orientação oposta. Baseado nisso, tem-se a necessidade de estabelecer um segundo critério para a escolha da melhor forma de implantação, baseado na posição com distribuição mais uniforme de iluminâncias em ambas as fachadas (considerando que o primeiro consiste na posição com maior porcentagem “conjugada” de iluminâncias).

Neste caso, as construções sem brises tiveram melhor distribuição da iluminação entre as duas fachadas na orientação de janelas E-W, seguida da NW-SE, NE-SW e por último N-S. Já a inserção de brises nas janelas alterou os valores, colocando como melhor orientação a NW-SE, seguida da N-S, E-W e NE-SW.

Com relação ao equilíbrio entre as fachadas na condição de céu encoberto, a melhor distribuição de iluminação para as salas opostas diz respeito à orientação de janelas N-S, seguida da NE-SW, E-W e NW-SE.

TABELA 18 – DISTRIBUIÇÃO DA ILUMINAÇÃO – RAZÃO ENTRE FACES OPOSTAS

COEFICIENTES - RAZÕES ENTRE FACES OPOSTAS			
FACES	SITUAÇÃO		
	Sem brises	Com brises	Com brises e céu encoberto
Norte-Sul	0,32	0,51	0,97
Leste-Oeste	0,70	0,39	0,07
Nordeste-Sudoeste	0,45	0,22	0,81
Noroeste-Sudeste	0,58	0,77	0,07

Fonte: Pesquisa

Este critério, que tem os resultados demonstrados no gráfico da figura 33 e compilados na Tabela 18, fornece mais informações ao projetista sobre o desempenho do módulo de salas de aula 023 para cada orientação. No entanto, sua aplicação se mostra mais eficiente se for utilizada em conjunto com o critério quantitativo. A união das duas informações simultaneamente permitirá a adaptação da construção às condicionantes locais, de entorno, de clima etc., com prévio conhecimento das perdas ou ganhos visuais a que estará sujeita na solução adotada.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nos dias atuais, cada vez mais se faz evidente a importância da sustentabilidade, do uso dos recursos e da eficiência energética em construções. Corbella (2003) define arquitetura sustentável como aquela que cria prédios objetivando o aumento da qualidade de vida do ser humano no ambiente construído e no seu entorno, integrado com as características da vida e do clima locais e consumindo a menor quantidade de energia.

Simulações são a base de sistemas de avaliação energética em países como EUA e Austrália. Os *Home Energy Systems (HERS) Programs* avaliam a eficiência energética de construções novas ou existentes e classificam a edificação de acordo com uma escala de valores, definida segundo níveis estabelecidos em legislações específicas.

As simulações realizadas mostraram-se ferramentas de grande valia para testar diferentes condições, algumas inviáveis de serem testadas ou medidas *in loco* (a inserção de brises, por exemplo). Configura-se aqui uma das dificuldades encontradas na pesquisa: torna-se inviável encontrar situações reais onde existam as combinações de céu, orientação, dia e hora verificadas, o que impossibilita a execução de todas estas medições em espaços construídos.

Podem ser ressaltadas principalmente duas contribuições da pesquisa:

- o procedimento metodológico;
- o conhecimento do comportamento do projeto estudado.

A metodologia utilizada destaca-se por permitir sua aplicação para verificação de outras escolas. Isto vai de encontro à preocupação, presente durante o desenvolvimento do trabalho, de tornar os resultados e os procedimentos adotados extensíveis a outros projetos e obras escolares.

O conhecimento prévio, ainda em fase de projeto, do comportamento que a construção terá, dá embasamento para a tomada de decisões e para a definição de itens importantes no desempenho ambiental da obra, como orientação e dimensionamento dos ambientes, tamanhos e tipos das aberturas, materiais, entre outros.

As salas de aula do projeto 023 são avantajadas quanto ao potencial de uso da luz natural, mas o uso da metodologia em projetos com poucas ou menores

aberturas pode contribuir de forma mais incisiva para a qualidade visual dos ambientes escolares.

Brown e Dekay (2004) entendem que se a área total de uma ambiente for iluminada somente com luz natural, as janelas terão que ser grandes demais, resultando em excessos, perdas e ganhos térmicos. Pizarro (2005) coloca que, se for utilizada somente iluminação artificial, o consumo será muito alto, bem como os ganhos térmicos produzidos pelas lâmpadas.

A importância em se aproveitar de melhor forma possível a oferta de luz natural, portanto, não objetiva o abandono de sistemas artificiais. Pelo contrário, a iluminação artificial deve ser usada como mecanismo suplementar à iluminação natural e quanto melhor for o aproveitamento desta última, menor serão os gastos com a primeira.

A configuração de projeto com salas voltadas para orientações opostas resulta em diferentes condições de luz para cada uma. Se uma determinada posição consegue uma quantidade razoável de carteiras com iluminâncias adequadas, somadas as fachadas opostas, não significa que necessariamente o desempenho é semelhante para ambas. Uma das salas pode estar muito bem iluminada, enquanto a outra pode apresentar níveis indesejados de iluminação. Daí a necessidade de se levar em conta uma razão que meça o equilíbrio entre as salas opostas.

Segundo Loro (2003), o corredor central existente nas edificações 023 térreas configura-se como ambiente reverberante devido a suas dimensões. A utilização de uma edificação com dois pavimentos produziria uma redução no pé-direito da circulação central, beneficiando a acústica. Se, aliado a isso, fosse possível construir salas em um só lado do corredor, poder-se-ia posicioná-las de acordo com a orientação que proporcionasse melhores condições ambientais – luminosas, acústicas ou térmicas – sem necessariamente prejudicar a sala com orientação oposta.

Segundo os resultados encontrados, para o módulo térreo e com céu claro, a existência de brises melhora significativamente as condições das iluminâncias internas, além de oferecer proteção térmica nas datas e períodos em que há necessidade.

Entretanto, pode-se dizer que os resultados do trabalho foram além do que simplesmente apontar a melhor ou a pior forma de implantação, com ou sem brises.

Acima de tudo, permitiram o conhecimento do desempenho luminoso das salas de aula construídas com o projeto padrão 023 em várias situações distintas de oferta de luz natural, configurando então outras contribuições importantes da pesquisa.

Combinando os dados obtidos com as características do entorno – peculiares para cada local – torna-se possível, mesmo com um projeto padronizado, adequá-lo às imposições físicas encontradas em cada implantação. O fato de se conhecer previamente como a edificação irá se comportar de acordo com a sua posição é uma ferramenta fundamental na tomada das decisões e definições projetuais.

Uma vez que se trata de um projeto padrão e que a variação da faixa de latitudes do Paraná não é significativa, as conclusões obtidas sobre a qualidade da iluminação das escolas 023 são extensíveis a todo o Estado.

A verificação das condições de iluminação natural dos ambientes fornece dados para o traçado de um panorama das condições de iluminação natural destas salas de aula, agregando informações para que possam ser feitas melhorias nesse projeto específico e contribuindo para o desenvolvimento de futuros projetos e critérios de implantação para novas escolas.

Os resultados encontrados também agregam informações a outros trabalhos e pesquisas, como a realizada por Loro (2003) sobre os aspectos acústicos desse mesmo projeto, favorecendo o conhecimento do comportamento dessas construções com relação ao conforto ambiental.

A pesquisa se concentrou na análise das iluminâncias dos planos de trabalho existentes nas salas de aula, obtidas por meio de simulações computacionais. Com base nos dados obtidos, podem ser desenvolvidos outros estudos, incorporando informações que ajudarão na composição de um quadro mais completo do desempenho ambiental das salas de aula do projeto 023.

Podem ser verificados, entre outros:

- os níveis de iluminância no quadro negro das salas de aula;
- medições *in loco* para verificação das refletâncias reais encontradas nos materiais, nos elementos construtivos e nos móveis existentes nos espaços;
- o potencial da economia de energia elétrica para iluminação artificial complementar, com ou sem a inserção de elementos de sombreamento para adequação dos níveis de luz internos;
- os efeitos produzidos pela alteração na quantidade ou nas dimensões das

aberturas;

- o comportamento térmico da construção padrão e os ganhos obtidos com elementos de sombreamento nas janelas.

REFERÊNCIAS

- ASHRAE. Disponível em <<http://www.ashrae.org>> Acesso em 10/05/2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5413**: Iluminância de interiores. Rio de Janeiro, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto 02: 135.07-001/3**: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2003.
- BASTOS, J. A. Educação e Tecnologia. **REVISTA EDUCAÇÃO & TECNOLOGIA**, Curitiba: Cefet-PR. Vol. 1, nº 1, pp 05-29. jul. 1997.
- BENCOSTTA, M. L. A. **Arquitetura e espaço escolar: o exemplo dos primeiros grupos escolares de Curitiba**. In: História da Educação, Arquitetura e Espaço Escolar, Marcus Levy Albino Bencostta (org.). São Paulo: Cortez, 2005.
- BITTENCOURT, L. **Uso das cartas solares: diretrizes para arquitetos**. Maceió: Edufal, 3ª ed., 2000.
- BOGO, A. J.; PEREIRA, F. O. R. **Análise de desempenho térmico e verificação do potencial de uso da iluminação natural para edificações escolares**. In: IV Encontro Nacional De Conforto No Ambiente Construído, 1997, Salvador. Anais... Salvador: ANTAC, 1997.
- BROWN, G. Z.; DEKAY, M. **Sol, vento & luz: estratégias para o projeto de arquitetura**. Porto Alegre: Bookman, 2004.
- BURKE, J.; ORNSTEIN, R. **O presente do fazedor de machados**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.
- CABUS, R. C.; PEREIRA, F. O. R. **Análise do desempenho luminoso de sistemas zenitais em função do número de aberturas**. In: IV Encontro Latino Americano De Ergonomia, 1997, Florianópolis. Anais... Florianópolis, 1997.
- CARVALHO, B. A. **Técnica da orientação dos edifícios – insolação, iluminação, ventilação**. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, 1970.
- CARVALHO, M. G. **Tecnologia e Sociedade**. In: Tecnologia e Interação, Bastos, João Augusto S. L. A. (org.) Coletânea “Educação e Tecnologia”. Curitiba: PPGTE CEFET-PR, p.89-102, 1998.
- CASTRO, A. P. A. S.; LABAKI, L. C.; CARAM, R. S.; BASSO, A.; FERNANDES, M. R. Medidas de refletâncias de cores de tintas através de análise espectral. **AMBIENTE CONSTRUÍDO**, Porto Alegre: ANTAC, v.3, nº2, 69-76, 2003.

CHING, F. D. K. **Arquitectura: forma, espacio y orden**. México: Ediciones G. Gilli, 1993.

CORBELLA, O.; YANNAS, S. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos – conforto ambiental**. Rio de Janeiro: Revan, 2003.

DE DEAR, R. J.; BRAGER, G. S. Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55. **ENERGY AND BUILDINGS**, Amsterdam: Elsevier, nº34, 549-561, 2002.

DORIGO, A. L.; SUGA, M.; KRÜGER, E. L. **Avaliação do Desempenho Luminoso de Edificações Escolares conforme sua Orientação Solar**. Florianópolis, 2006. In: XI ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Anais... Florianópolis, 2006, CD-ROM.

DORIGO, A. L.; KRÜGER, E. L. **Breve Histórico da Área de Conforto Ambiental no Brasil**. Curitiba, 2005. In: Simpósio Nacional de Tecnologia e Sociedade. Anais... Curitiba, 2005, CD-ROM.

DUMKE, E. M. S. **Avaliação do Desempenho Térmico em Sistemas Construtivos da Vila Tecnológica de Curitiba como Subsídio para a Escolha de Tecnologias Apropriadas em Habitação de Interesse Social**. Dissertação de Mestrado – Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná – CEFET-PR, Curitiba: 2002.

Energy Rating Systems. Disponível em <<http://www.sustainable.energy.sa.gov.au>>. Acesso em 07/09/05.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. São Paulo: Studio Nobel, 7ª ed., 2003.

GARDE, G. Softwares de Lighting Design. **REVISTA L+D - ILUMINAÇÃO + DESIGN + ARQUITETURA**, São Paulo: Lumière, nº10, 24-27, set. 2006.

GOULART, S.; LAMBERTS, R. FIRMINO, S. **Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras**. Florianópolis: Núcleo de Pesquisa em Construção / UFSC, 2ª ed., 1998.

GRAÇA, V. A. C.; KOWALTOWSKI, D. C. C. K.; PETRECHE, J. R. D.; YEE, C. L. **Otimização de projetos das escolas da rede estadual de São Paulo considerando conforto ambiental**. In: VI Encontro Nacional e III Encontro Latino-Americano Sobre Conforto No Ambiente Construído, 2001, São Pedro, SP. Anais... São Carlos: ANTAC, 2001.

HOPKINSON, R. G.; PETHERBRIDGE, P.; LONGMORE, J. **Iluminação natural**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbekian, 1975.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ - IAPAR. **Cartas climáticas do Paraná**. Disponível em <http://www.iapar.br/Sma/Cartas_Climaticas/Classificacao_Climatica>. Acesso em 03/11/06.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO EDUCACIONAL DO PARANÁ – FUNDEPAR. **Principais ações da Fundepar – janeiro/2003 - março/2004**. Curitiba: FUNDEPAR, 2004.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO EDUCACIONAL DO PARANÁ – FUNDEPAR. Disponível em <http://www.pr.gov.br/fundepar>. Acesso em 10/11/2004.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT. **Histórico**. Disponível em <<http://www.ipt.br>>. Acesso em 06/08/05.

KOWALTOWSKI, D. C. C. K.; PINA, S. A. M. G.; RUSCHEL, R. C.; LABAKI, L. C.; BERTOLI, S. R.; FILHO, F. B. **O conforto no ambiente escolar: elementos para intervenções de melhoria**. In: IX Encontro Nacional De Tecnologia No Ambiente Construído, 2002, Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu: ANTAC, 2002.

KRÜGER, E. L.; BASTOS, J. A.; CARVALHO, M. G. **Apropriação do conhecimento tecnológico**. In: Desafios da apropriação do conhecimento tecnológico, Bastos, João Augusto S. L. A. (org.) Coletânea “Educação e Tecnologia”. Curitiba: PPGTE CEFET-PR, p.07-26, 2000.

KRÜGER, E. L. **Uma abordagem sistêmica da atual crise ambiental**. Desenvolvimento e Meio Ambiente, UFPR/Curitiba, v. 4, p. 37-43, 2001.

KRÜGER, E. L.; ADRIAZOLA, M. K. O. ; TAKEDA, N. **Avaliação de desempenho térmico em escolas emergenciais da região de Curitiba**. In: I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável e X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2004, São Paulo. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2004. v. 1. p. 1-8.

LABAKI, L. C.; BARTHOLOMEI, C. L. B. **Avaliação do conforto térmico e luminoso de prédios escolares da rede pública**. In: VI Encontro Nacional e III Encontro Latino-Americano Sobre Conforto No Ambiente Construído, 2001, São Pedro, SP. Anais... São Carlos: ANTAC, 2001.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Normalização em conforto ambiental**. Disponível em <<http://www.labee.ufsc.br>>. Acesso em 18/08/05.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo: PW, 1997.

LAMBERTS, R. **Normatização em conforto ambiental**. In: V Encontro Nacional De Docentes De Conforto Ambiental, 1992, Belo Horizonte, MG. Belo Horizonte: 1992.

LORO, C. L. P. **Avaliação acústica de salas de aula – estudo de caso em salas de aula padrão – 023 da rede pública**. Dissertação de Mestrado – UFPR – Universidade Federal do Paraná, Curitiba: 2003.

MASCARÓ, L. **Energia na Edificação – estratégia para minimizar seu consumo**. São Paulo: Projeto, 2ª ed., 1991.

MOECKEL, A.; MOREIRA, H. **modelo_dissertacao_ppgte.doc**. Modelo de referência para estruturação de dissertações do PPGTE. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia do CEFET-PR. Curitiba, 20 out. 2003. Arquivo (172 Kbytes); Word 2000. Disponível em: <http://www.ppgte.cefetpr.br/download/modelo_dissertacao_ppgte.zip> Acesso em: 26/05/2006.

NETO, I. R. **Gestão De Organizações**. São Paulo: Atlas, 2003.

OLGYAY, A.; OLGAY, V. **Solar Control and Shading Devices**. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1957.

OLIVEIRA, M. C. A.; LABAKI, L. C. **Avaliação de conforto térmico no Brasil: a pesquisa de Paulo Sá no Rio de Janeiro, nas décadas de 1930 a 1950. Uma aproximação com o método adaptativo**. In: VIII Encontro Nacional e V Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído. Curitiba: ANTAC, 2003.

OLIVEIRA, M. C. A.; LABAKI, L. C. **A pesquisa sobre reflexão térmica no Brasil: primeiros estudos**. In: IV Congreso Confort y Eficiencia Energética en la Arquitectura - COTEDI 2005. Ciudad de México: 2005.

PAPST, A. L.; PEREIRA, F. O. R.; LAMBERTS, R. **Uso de simulação computacional para análise de iluminação natural**. In: VII Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. Florianópolis: 1998.

PEDROSA, R. P.; BRACARENSE, M. S. S.; BRAGA, A. R.; ASSIS, E. S.; JOTA, P. R. S. **Análise do desempenho luminoso – estudo de caso de uma sala de aula do Cefet - MG**. In: VIII Encontro Nacional e V Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído. Curitiba: ANTAC, 2003.

PESAVENTO, S. J. **Exposições universais**. São Paulo: Cultrix, 1997.

PIZARRO, P. R. **Estudo das variáveis do conforto térmico e luminoso em ambientes escolares**. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Universidade Estadual Paulista, Bauru: 2005.

PROGRAMA DE TECNOLOGIA PARA HABITAÇÃO. **Habitare colabora com a produção das normas brasileiras de conforto ambiental**. Disponível em <<http://habitare.infohab.org.br>>. Acesso em 06/08/05.

REVISTA PROJETO/DESIGN. **Debate: Arquitetos e técnicos discutem arquitetura e eficiência energética das edificações**. São Paulo: Arco Editorial Ltda., nº257, 32-36, jul. 2001.

RORIZ, M. **Luz do Sol - Um Software para Estimar o Calor e a Luz Provenientes do Sol**. In: III Encontro Nacional e I Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído. Gramado. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 1995.

SEAGRAM BUILDING. Disponível em <www.thecityreview.com/park375.html>. Acesso em 17/09/06.

SEGAWA, H. **Arquiteturas no Brasil – 1900-1990**. 2.ed. São Paulo: Edusp, 2002.

SEGAWA, H. **Clave de sol**. In: VI Encontro Nacional e III Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído. São Pedro. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2001.

SMART COMMUNITIES NETWORK. **Green Buildings Energy Rating Systems**. Disponível em <<http://www.sustainable.doe.gov/buildings>>. Acesso em 07/09/05.

SUGA, M. **Avaliação do Potencial de Aproveitamento de Luz Natural em Cânions Urbanos: Estudo Realizado nos Eixos Estruturais de Curitiba**. Dissertação de Mestrado – Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Curitiba: 2005.

VILLAS BOAS, M. **Significado da arquitetura nos trópicos – um enfoque bioclimático**. Disponível em <<http://www.tropicologia.org.br>>. Acesso em 06/08/05.

VIANNA, N. S.; GONÇALVES, J. C. S. **Iluminação e Arquitetura**. São Paulo: Geros, 2ªed., 2004.

VIII ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. **Histórico dos Encontros Nacionais sobre Conforto o Ambiente Construído**. Disponível em <<http://www.encac2005.ufal.br>>. Acesso em 01/08/05.

WARD, G. J. **Radiance: A tool for computing luminance and synthetic images**. Lighting Systems Research Group - Lawrence Berkeley Laboratories, California, USA: 1990.

XAVIER, A. A. P.; LAMBERTS, R. **Temperatura interna de conforto e percentagem de insatisfeitos para a atividade escolar: diferenças entre a teoria e a prática**. In: IV Encontro Nacional De Conforto No Ambiente Construído. Salvador. Anais... Salvador: ANTAC, 1997.

ZEVI, B. **Saber ver a arquitetura**. São Paulo: Martins Fontes, 4ª ed., 1994.

APÊNDICE A – FOTOS DA ESCOLA VISITADA

FIGURA 38 – DETALHE – FAIXAS DE TIJOLOS DE VIDRO NA SALA DE AULA



Fonte: Pesquisa

FIGURA 39 – DETALHE – QUADRO NEGRO DA SALA DE AULA



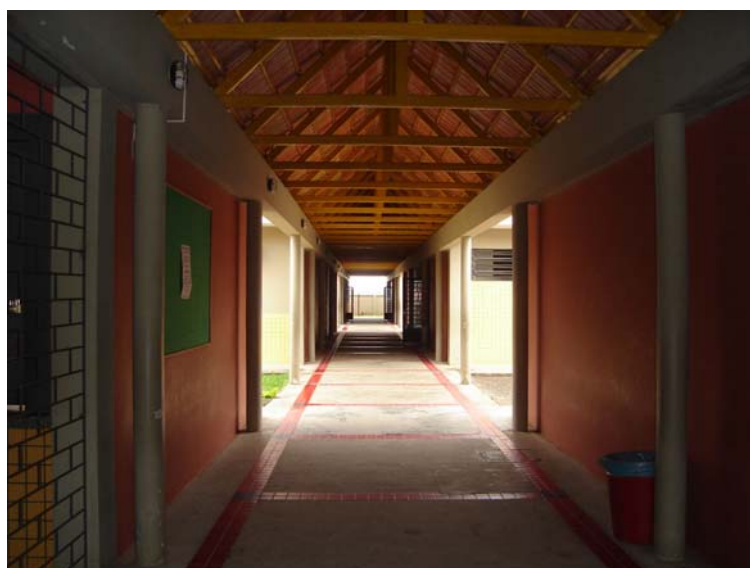
Fonte: Pesquisa

FIGURA 40 – DETALHE – VISTA EXTERNA DO MÓDULO DE SALAS DE AULA



Fonte: Pesquisa

FIGURA 41 – DETALHE – CORREDOR EXTERNO DE LIGAÇÃO ENTRE OS MÓDULOS

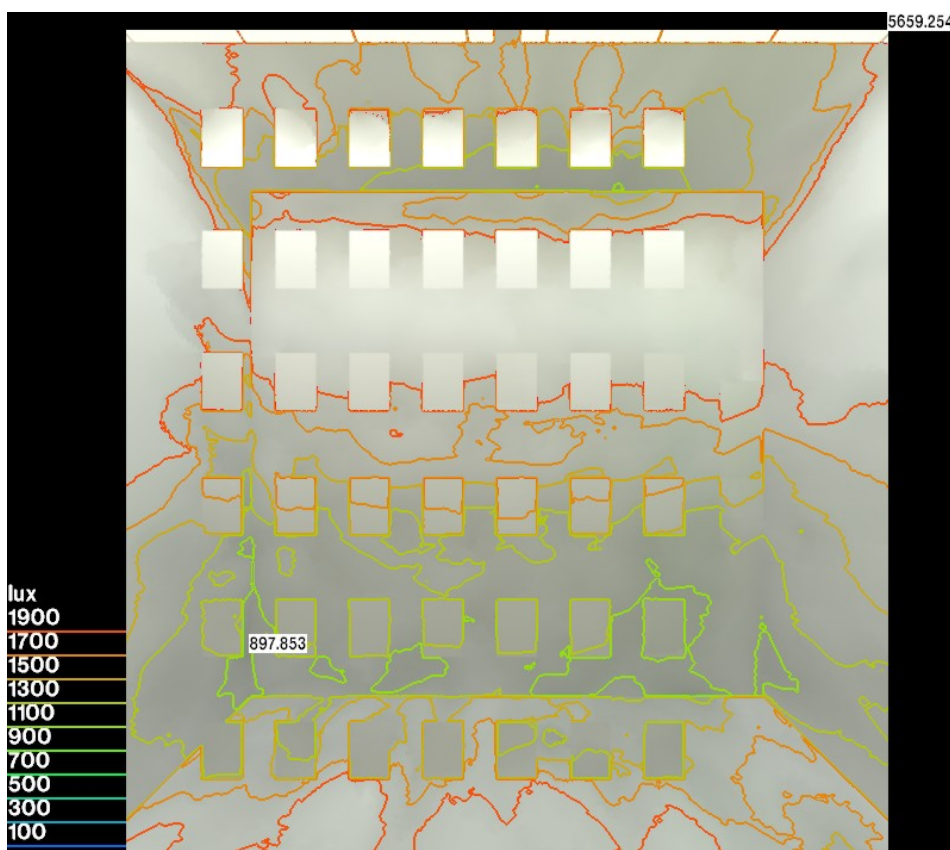


Fonte: Pesquisa

APÊNDICE B – IMAGENS GERADAS PELO SOFTWARE RADIANCE

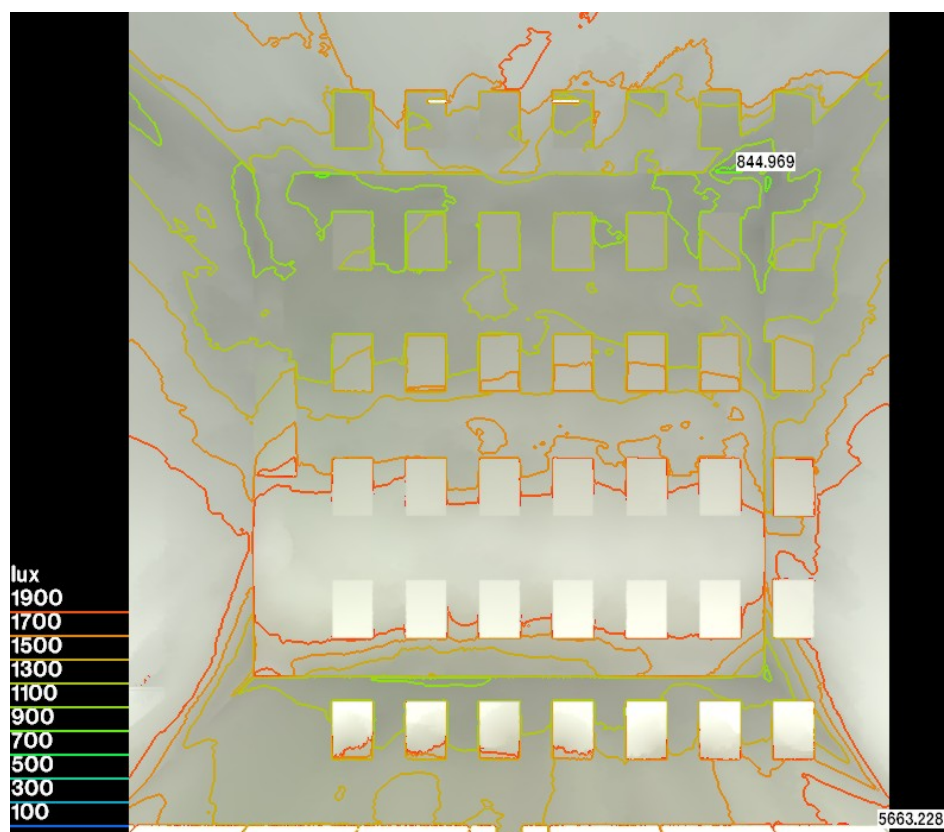
As figuras seguintes se referem às imagens geradas pelo software Radiance, para a situação com janelas voltadas para NE-SW (eixo da construção NW-SE), às 12:00h, no solstício de verão, para condições de céu claro sem brises, céu claro com brises e céu encoberto com brises. Da mesma maneira, foram geradas simulações semelhantes para todas as outras combinações de dia-horário-orientação e tipo de céu, das quais foram feitas as leituras transcritas nas tabelas previamente mostradas.

FIGURA 42 – SIMULAÇÃO DAS ILUMINÂNCIAS DA SALA DE AULA PARA CÉU CLARO, SEM BRISES – JANELAS NE, 12:00H, SOLSTÍCIO DE VERÃO



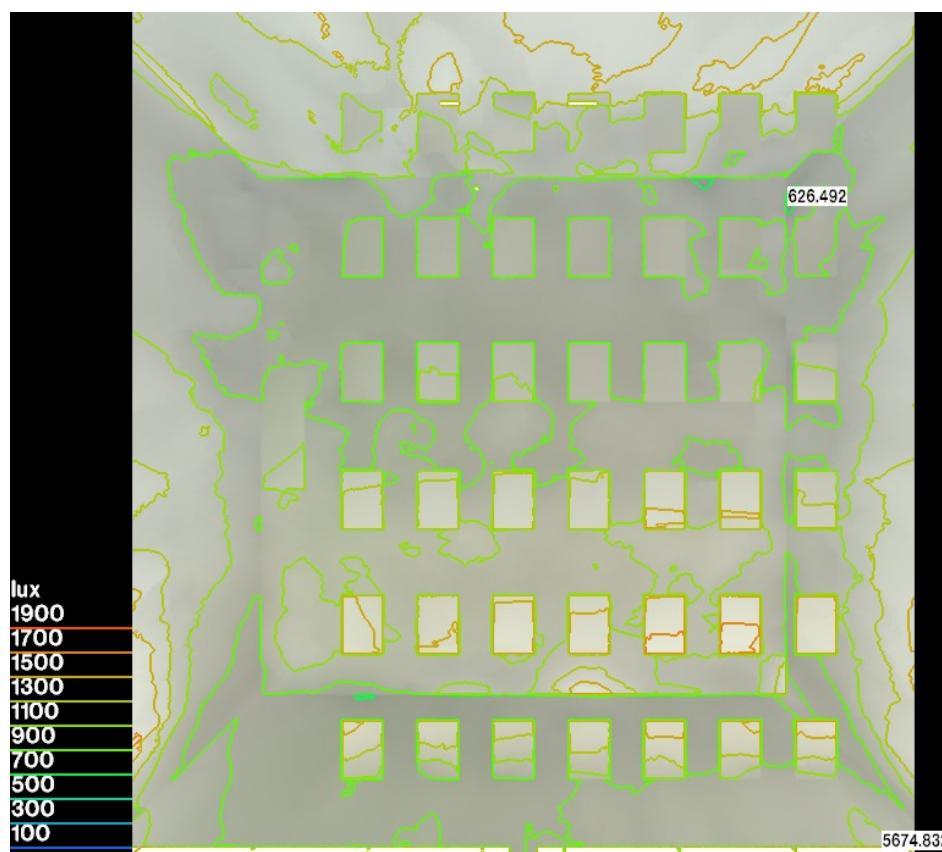
Fonte: Pesquisa

FIGURA 43 – SIMULAÇÃO DAS ILUMINÂNCIAS DA SALA DE AULA PARA CÉU CLARO, SEM BRISES – JANELAS SW, 12:00H, SOLSTÍCIO DE VERÃO



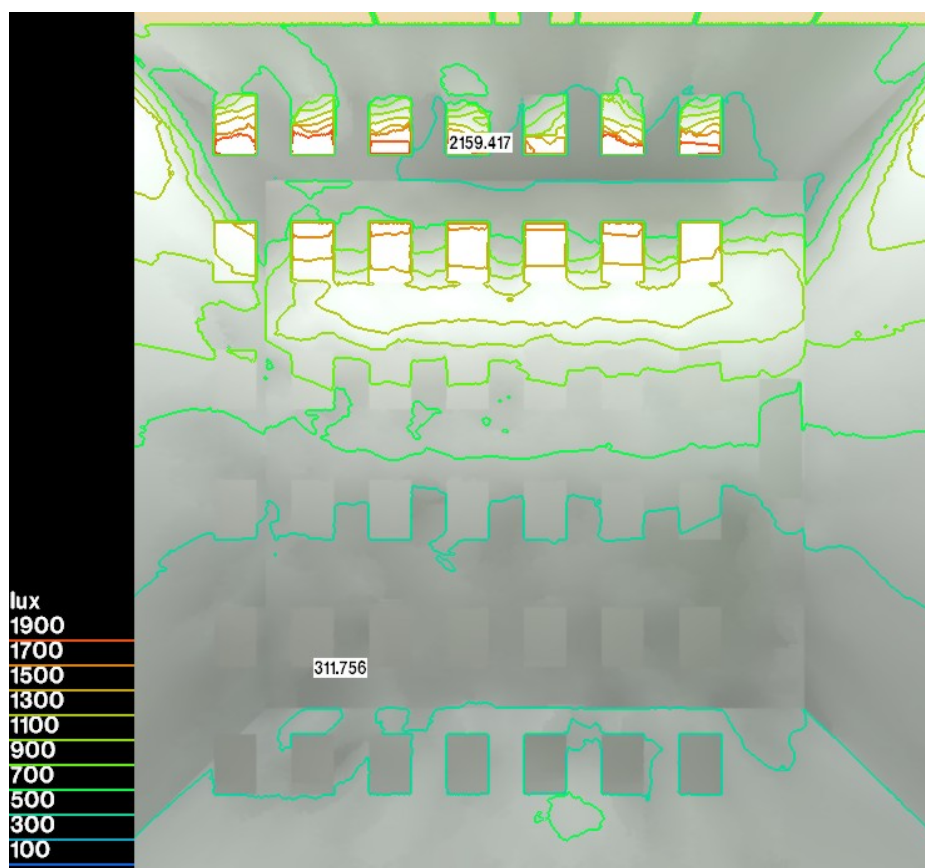
Fonte: Pesquisa

FIGURA 44 – SIMULAÇÃO DAS ILUMINÂNCIAS DA SALA DE AULA PARA CÉU CLARO, COM BRISES – JANELAS SW, 12:00H, SOLSTÍCIO DE VERÃO



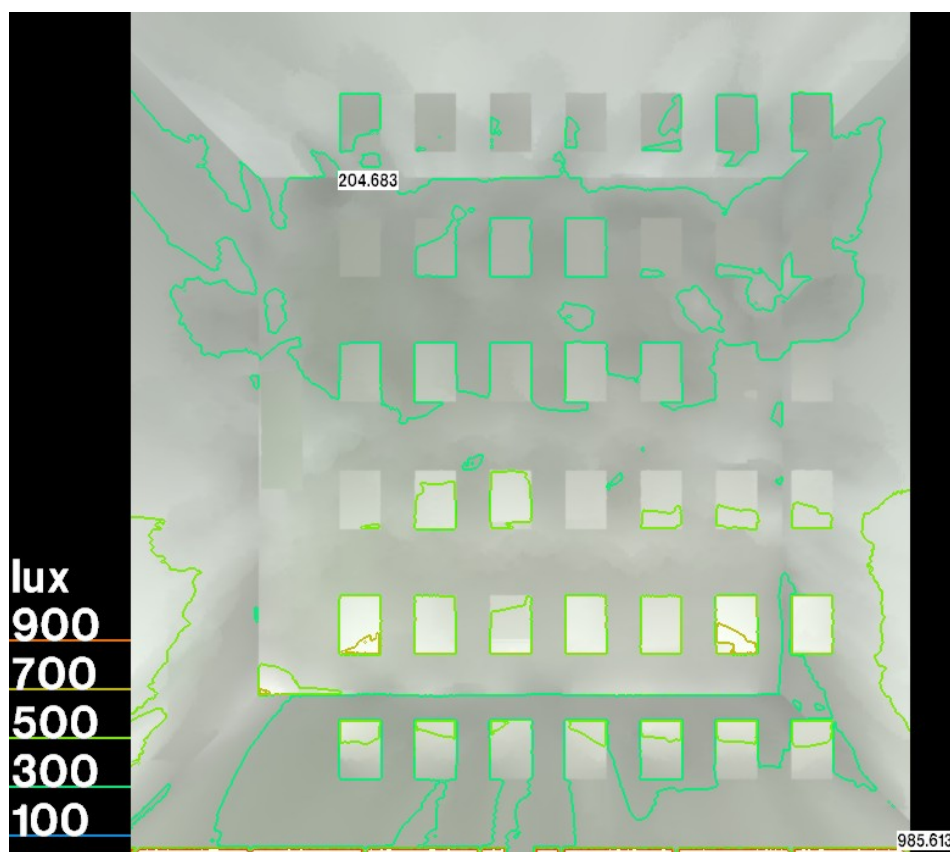
Fonte: Pesquisa

FIGURA 45 – SIMULAÇÃO DAS ILUMINÂNCIAS DA SALA DE AULA PARA CÉU ENCOBERTO, SEM BRISES – JANELAS NE, 12:00H, SOLSTÍCIO DE VERÃO



Fonte: Pesquisa

FIGURA 46 – SIMULAÇÃO DAS ILUMINÂNCIAS DA SALA DE AULA PARA CÉU ENCOBERTO, COM BRISES – JANELAS SW, 12:00H, SOLSTÍCIO DE VERÃO

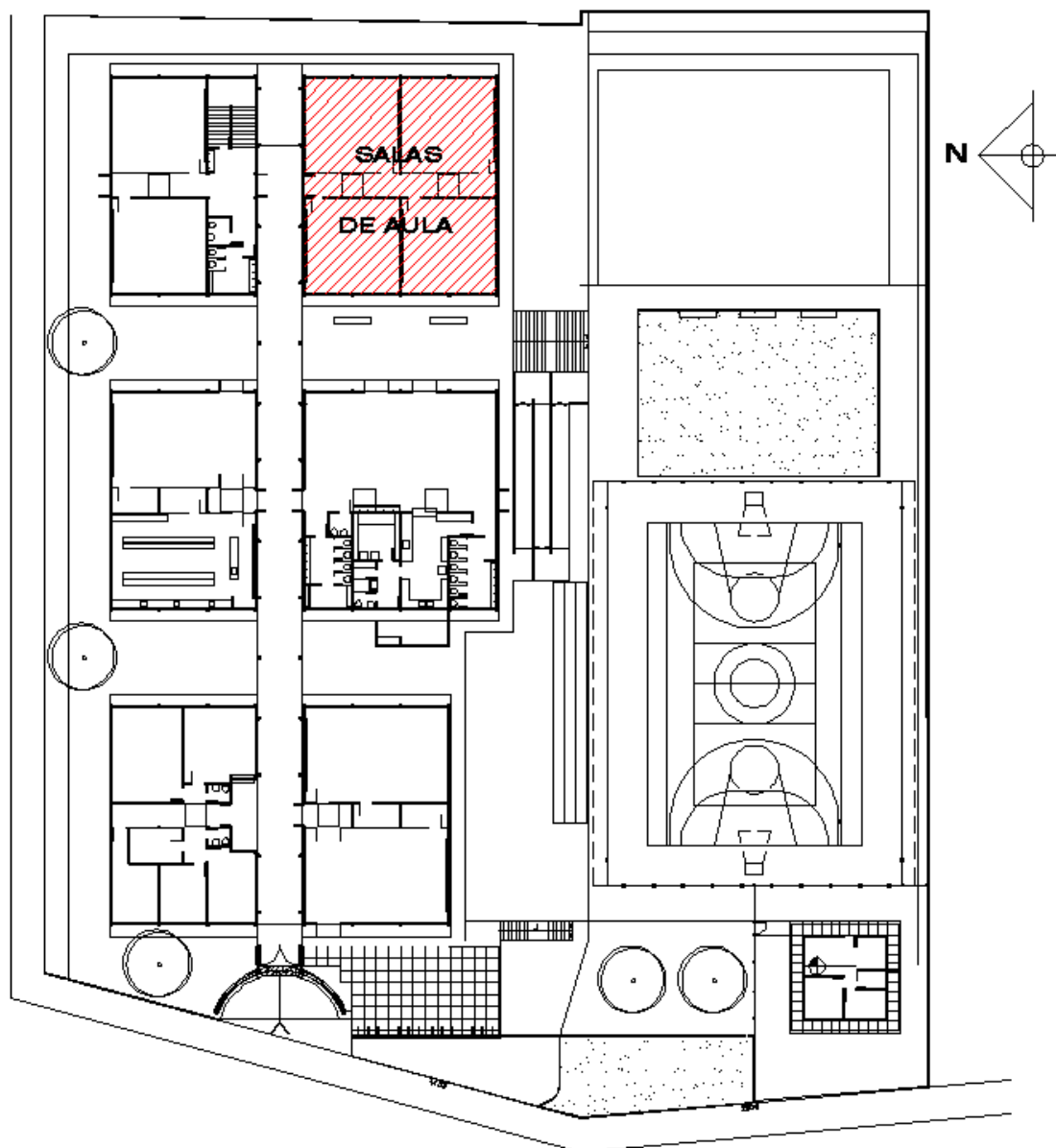


Fonte: Pesquisa

ANEXO A – PLANTA DA ESCOLA VISITADA

A figura 47 se refere ao projeto de implantação da escola 023 que foi visitada para verificação e levantamento de informações e características das salas de aula.

FIGURA 47 – ESCOLA CONSTRUÍDA COM O PROJETO PADRÃO 023 NO MUNICÍPIO DE PINHAIS - PR



Fonte: Instituto de Desenvolvimento Educacional do Paraná – FUNDEPAR