XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído
JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

METODOLOGIA PARA ANÁLISE DE ILUMINAÇÃO NATURAL ZENITAL EM QUADRAS POLIESPORTIVAS

Kaila Bissolotti (1); Fernando Oscar Ruttkay Pereira (2)
(1) Ma, Arquiteta e urbanista, kaila@labcon.ufsc.br, Universidade Federal de Santa Catarina, Rua dos Pinheiros, 954, 43, São Paulo – SP, 05422-001, Tel.: (11) 99003-0050
(2) PhD, Professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, ruttkay.pereira@ufsc.br, Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Laboratório de Conforto Ambiental, Caixa Postal 476, Florianópolis – SC, 88040-900, Tel.: (48) 3331-7080

RESUMO
O projeto arquitetônico é a principal forma de prever o controle da qualidade e quantidade de luz natural. Esta, quando bem controlada, pode proporcionar os níveis adequados de iluminação, a correta reprodução das cores, distribuição espectral, economia de energia e inúmeros benefícios biológicos, fisiológicos e psicológicos aos usuários. Potencializar o seu uso é desejável, mas deve ser feito com precaução. Em quadras poliesportivas fechadas, devido às grandes dimensões, os projetos requerem uma preocupação especial para manter níveis homogêneos de iluminância por todo espaço, evitando ofuscamentos, altos contrastes, reflexões ou perda de visibilidade momentânea ao usuário. Além disso, a complexidade também está na grande variabilidade de direções e atividades visuais, além da existência de mais de uma modalidade esportiva em uma mesma instalação. Essa pesquisa objetivou aferir uma metodologia de avaliação do aproveitamento da luz natural em quadras poliesportivas com base na disponibilidade da luz e na probabilidade de ocorrência de perturbações visuais nos usuários. A aplicação foi realizada para três sistemas zenitais: claraboias, *sheds* e lanternins e as análises se deram por meio de simulação computacional através de três etapas de avaliação: das medidas dinâmicas de sUDI[300-2.000lux,50%h] (*Spatial Useful Daylight Illuminances*), ASE[1.000lux,250h] (*Annual Sunlight Exposure*) e do índice DGP (*Daylight Glare Probability*) com a ferramenta *Annual Glare*. Ao final desta pesquisa pôde-se concluir que a metodologia empregada foi satisfatória e adequada para fundamentar as formas de avaliação realizadas e o emprego de simulações computacionais foi fundamental para permitir a realização de análises dinâmicas do ambiente luminoso ao longo de cada hora do dia, para todos os dias do ano; o que seria inviável através de mapeamentos em ambientes reais de quadras poliesportivas, que permitem apenas análises estáticas e pontuais.
Palavras-chave: iluminação natural, zenital, metodologia, simulação computacional.

ABSTRACT
Architectural design is the main contributing factor to predict daylighting quantity and quality control of buildings. When well conducted, can provide appropriate lighting, balanced spectrum and distribution colors, energy savings and biological, physiological and psychological benefits to users. Increase its use is desirable, but it must be carefully done. In sports facilities, due to the large surfaces, the design takes special cares to maintain homogeneous levels of illuminance throughout the space, avoiding excessive glare, high contrasts, reflections or momentary vision loss to users. In addition, there is also a large variability of visual activities and directions, as well as sports type in the same facility. The objective of this research was verify a methodology to evaluate daylight in sport halls based on daylight availability and the daylight glare probability in users. The application was performed in three toplighting systems: skylights, saw tooth and monitors and analyzes was performed with computer simulation in three evaluation phases: dynamic measurements of sUDI [300-2000lux, 50% h] (Spatial Useful Daylight Illuminances), ASE [1.000lux, 250h] (Annual Sunlight Exposure) and DGP index (Daylight Glare Probability) with Annual Glare tool. Towards this end, the results show that the methodology was appropriate to base the evaluation method and the computational simulation was essential for the accomplishment dynamic analyzes of daylight environments throughout from every hour of the day to every day of the year; which would be impracticable through site mappings in real spaces of sports halls, that allow only static and point analysis.
Keywords: daylighting, skylight system, methodology, computational simulation, sports facilities.

1. INTRODUÇÃO

A luz natural, quando bem controlada, pode proporcionar os níveis adequados de iluminação para as mais variadas atividades humanas, além da correta reprodução do espectro da luz e temperatura das cores (DIDONÉ e PEREIRA, 2009; EDWARDS e TORCELLINI, 2002). Ela também possui uma série de efeitos não visuais e que podem trazer inúmeros benefícios biológicos, fisiológicos e psicológicos aos usuários, desempenhando um papel essencial na regulação do ciclo circadiano do organismo (ANDERSEN, 2015; BOYCE, HUNTER e HOWLETT, 2003), que controla muitos aspectos fisiológicos, metabólicos e comportamentais, como a produção de alguns hormônios, níveis de melatonina, regulação da temperatura corporal, ciclos de sono, atividades do córtex, desempenho do organismo, entre outras funções (CZEISLER e GOOLEY, 2007; EDWARDS e TORCELLINI, 2002; BOYCE, 2014). Os benefícios da luz natural se estendem, inclusive, na economia de energia elétrica. As recentes preocupações com o consumo de energia e o meio ambiente resgatam e evidenciam a importância da adoção de estratégias de iluminação natural e controle solar na redução do consumo energético dos edifícios (IHM, NEMRI e KRARTI, 2009).

A principal forma de prever o controle da qualidade e quantidade de luz natural dentro de uma edificação é pelo projeto arquitetônico. A forma, a orientação, o *layout* dos espaços internos, a localização e o tamanho das aberturas, o uso de dispositivos de sombreamentos e a escolha dos materiais podem impactar significativamente na admissão e na distribuição da luz natural dentro da edificação (KWAN, 2009). Potencializar o seu uso, integrado ao sistema de iluminação artificial, é uma das importantes questões que devem ser pensadas nas primeiras fases do projeto. Se bem aproveitada, a luz natural pode propiciar espaços visualmente confortáveis e as respostas visuais passam a ser influenciadas pela natureza dinâmica dessa fonte de luz. A característica primária da luz natural é a sua variabilidade, que ocasiona variações e intensidades produzindo diversas composições de luz e sombra dentro dos ambientes – os contrastes, importantes para melhorar a visibilidade e o desempenho das tarefas, por que permitem identificar com maior clareza a aparência dos elementos do campo visual e seu entorno imediato, por meio da diferença de luminâncias (brilho) (PEREIRA e SOUZA, 2005). Estudos demonstraram que quando os valores de contraste de luminância são inferiores a 40%, o tempo de resposta de desempenho da tarefa aumenta, agravando a perda tanto da velocidade quanto da precisão de execução (REA, 1981 apud BOYCE, HUNTER e HOWLETT, 2003). Em contrapartida, valores muito elevados podem produzir ofuscamentos ou reflexões desconfortáveis aos usuários (BOYCE, 2014). Portanto, potencializar o uso da luz natural é desejável, mas deve ser feito com precaução, já que a luz em excesso ou mal distribuída pode gerar ganhos desnecessários de calor, excessos de brilho, perturbações e perda de visibilidade ao usuário. (ANDERSEN, 2015; KHANIE, JIA, *et al.*, 2015).

Para projetos de instalações esportivas, integrar a luz do dia é natural e eficiente do ponto de vista energético, mas tem tido enorme resistência pelos problemas causados pelo excesso de brilho, que é um subproduto de projetos de iluminação natural mal concebidos (CULLEY e PASCOE, 2009). Definir as variáveis da admissão de luz natural com precisão é uma das grandes dificuldades encontradas nos processos de avaliação dessa tipologia de ambiente, principalmente por se tratarem de parâmetros subjetivos e que variam com a necessidade do usuário de olhar em diferentes direções em momentos subsequentes. A preocupação em considerar o olhar de forma dinâmica se iniciou em estudos recentes com ambientes de trabalho, onde foi proposto um modelo de conforto visual adaptativo em que os usuários podem alterar a direção da visão para evitar desconforto, criando uma "zona de adaptação" (JAKUBIEC e REINHART, 2011). No entanto, nos estudos existentes até então, o usuário permanece estático e a direção do olhar que é integrada pelos movimentos de rotação do corpo, da cabeça e dos olhos (KHANIE, *et al*., 2011, 2013, 2015 apud GOEDERT, 2017). Até o momento, faltam estudos que demonstrem a relação entre o movimento dos olhos e o contexto visual quando o usuário é dinâmico e permanece em constante movimento, como ocorre nos ambientes esportivos.

Um levantamento publicado em 2016 pelo Ministério do Esporte (BRASIL, 2016) indica que cerca de 54% da população brasileira praticou algum tipo de esporte ou atividade física no ano de 2013 e, destes, 61% foram realizados em algum tipo de instalação esportiva, onde é interessante apontar que quase 50% dos brasileiros que praticaram esportes ou atividades em instalações esportivas o fizeram em instituições públicas ou de acesso gratuito. Este mesmo estudo trouxe um panorama geral, por faixa etária, da porcentagem de esportistas e usuários ativos, que praticaram qualquer tipo de atividade física, e os resultados evidenciaram que existe uma maior participação dos jovens e que esta decresce com o aumento da idade. Este índice, relativamente expressivo entre jovens e adolescentes, demonstra que é latente a influência da escola com relação à prática esportiva e à promoção da continuidade do usuário no âmbito esportivo. É expressivo também o número de instalações deste tipo no Brasil: em 2016, 96,4% dos municípios declararam a existência de instalações esportivas de propriedade da prefeitura, totalizando 41.641 instalações. Deste total, das 2.017 instalações esportivas das escolas públicas estaduais, 67,7% (1.366) são ginásios, e nas 4.190 instalações

esportivas das escolas municipais, os ginásios representam 78,1% (3.270) (IBGE, 2017). Atualmente, a existência de quadras poliesportivas nas escolas públicas brasileiras não é obrigatória, mas existe um Projeto de Lei (6757/16) aprovado pela Comissão de Educação da Câmara de Deputados, em processo de análise por outras comissões, que determina a obrigatoriedade na construção de quadras poliesportivas nos novos estabelecimentos públicos de ensino fundamental e médio, indicando que esse índice tende a crescer cada vez mais.

Estes indicativos demonstram a relevância em avaliar o potencial uso da luz natural em quadras poliesportivas, tanto para a redução do consumo energético com iluminação artificial quanto para melhoria do conforto visual e bem-estar dos esportistas. Neste caso, a complexidade de avaliação está na grande variabilidade de direções de visão para as distintas atividades visuais (espectadores, jogadores etc), além da possibilidade de prática de diversas modalidades esportivas (voleibol, basquetebol, futebol, handebol etc.) em uma mesma instalação. Devido a isso e às grandes dimensões das instalações esportivas, os projetos de iluminação natural requerem uma preocupação especial para manter níveis homogêneos e adequados de iluminância por todo espaço evitando ofuscamentos, altos contrastes, reflexões ou perda de visibilidade momentânea (CULLEY e PASCOE, 2009). A iluminação lateral costuma ser mais adequada a ambientes com atividades próximas às janelas e/ou ambientes pouco profundos (PHILLIPS, 2004), enquanto a iluminação zenital fornece, em geral, além de uma maior uniformidade na distribuição da luz para grandes áreas, a captação de três vezes mais luz da abóbada celeste com a mesma área de abertura (ENERGY RESEARCH GROUP, 1994 apud CABUS, 1997), o que permite a existência de aberturas menores, contribuindo também para a melhora na eficiência energética da edificação (IES, 2011). A utilização da iluminação zenital é, portanto, a estratégia de projeto mais adequada para esta tipologia de ambiente. Outra justificativa é o fato da iluminação lateral estar presente na direção visual dos esportistas com maior frequência se comparado à iluminação zenital, podendo ocasionar maiores problemas de perturbação visual por contraste (CULLEY e PASCOE, 2009; CIBSE, 1999; VIANNA e GONÇALVES, 2001).

Neste contexto, até o momento, poucos estudos aprofundam o comportamento da luz de sistemas zenitais correlacionados à ambientes esportivos, cabendo aferir um método de avaliação para diferentes sistemas que estime o melhor aproveitamento e distribuição da luz natural para esta tipologia de ambiente.

2. OBJETIVO

Aferir uma metodologia de avaliação do aproveitamento da luz natural através sistemas zenitais para quadras poliesportivas fechadas, com base na disponibilidade de luz e na probabilidade de ocorrência de perturbações visuais nos usuários.

3. MÉTODO

Os procedimentos metodológicos dividem-se em três etapas: levantamento e identificação de padrões construtivos, definição e criação do modelo-base e definição de diretrizes para simulação computacional.

3.1. Identificação de padrões construtivos

Devido à grande quantidade de instalações esportivas construídas no Brasil, optou-se por verificar a possibilidade de existência de padrões construtivos em quadras poliesportivas fechadas. A identificação dessas características objetivou auxiliar na criação de um modelo padrão efetivo para a realização de simulações e análises.

A fim de viabilizar essa etapa foi adotada uma cidade como referência, onde, por meio de pesquisa documental foram identificadas as quadras poliesportivas fechadas existentes. A pesquisa documental ocorreu por meio da investigação de informações digitais disponíveis e a partir de bases de dados públicas.

Após a pesquisa documental, foram realizadas visitas a campo em instalações de interesse para coletas de dados, medições e registros fotográficos. As principais características coletadas foram: dimensões gerais da quadra poliesportiva (largura e comprimento); dimensões gerais do ambiente (largura, comprimento e pé-direito); existência de arquibancadas e dimensões gerais para cálculo da capacidade (largura, comprimento e pé-direito); principais materiais e acabamentos internos das paredes, pisos e tetos; quantidade total, tipologia e localização das aberturas de iluminação; existência de aberturas zenitais; outras informações construtivas relevantes ao estudo. Além disso, também foram levantadas informações gerais de utilização do espaço, como: turnos do dia e dias da semana, para identificação da frequência de uso; modalidades esportivas mais frequentes; público-alvo; frequência de uso da iluminação artificial durante o período diurno.

3.2 Definição e criação do modelo-base

Para realizar simulações computacionais com diferentes sistemas zenitais foi adotado um modelo padrão de quadra poliesportiva. As características físicas deste modelo-base se embasaram nos resultados encontrados nos levantamentos descritos na etapa 3.1. Devido à variabilidade dos tamanhos de quadra poliesportiva, foi definido um tamanho padrão com base nas dimensões oficiais da Confederação Brasileira de Futebol de Salão (CBFS, 2018) por ser a quadra de futsal a que possui a maior dimensão dentre as modalidades esportivas presentes. Segundo a CBFS, a quadra oficial deve possuir 40 metros de comprimento por 20 metros de largura com área de escape de, no mínimo, 1,50 metros. As demais características, como pés-direitos, afastamentos laterais de circulação, altura, largura e quantidade de arquibancadas, entre outros, foram resultantes dos valores médios identificados na etapa 3.1.

O modelo-base utilizado para as simulações foi elaborado no *plugin Grasshopper* integrado ao *software Rhinoceros*.

3.2.1 Características dos materiais internos – Refletâncias

A refletância, a transmitância, a especularidade e a difusão são características das superfícies que se relacionam diretamente com a luminância (GODOY, FONSECA e VARGAS, 2004), já que o modo como a luz interage com uma superfície é definido com base nos materiais, suas texturas e cores. Portanto, as características de todas as superfícies são importantes para determinar os efeitos da distribuição da iluminação no ambiente interno.

A escolha das características visuais dos materiais do modelo-base também se embasou nos resultados encontrados nos levantamentos da etapa 3.1, levando em consideração a distribuição equilibrada das luminâncias de acordo com as recomendações existentes, onde tetos devem possuir refletâncias de 70 a 90% ou mais, paredes de 50 a 60% ou mais e pisos de 20% ou mais (IES, 2011).

3.3 Definição das diretrizes para simulação computacional

3.3.1 Localização e orientação geográfica

Sabendo-se que a variação de latitude e longitude difere nos níveis de radiação solar incidente em um ambiente, foi definida a adoção de uma cidade específica para simulação.

Quando relevante, de acordo com a tipologia de sistema zenital, também foram definidas diferentes orientações solares a fim de avaliar o efeito do comportamento luminoso para cada uma delas. Nestes casos, foram adotadas no máximo quatro orientações solares: norte, sul, leste e oeste.

Em vista disso, destaca-se a importância da correta inserção dos dados climáticos de entrada nas simulações através do arquivo climático. Para todas as simulações, a fim de obter maior confiabilidade nos resultados, definiu-se a utilização do arquivo climático *.epw da base de dados SWERA. A escolha desta base baseou-se na sua adequabilidade, visto que o arquivo climático SWERA foi o que apresentou as menores variações entre os dados de irradiância e os dados presentes no Atlas Solarimétrico de pesquisas já realizadas (FONSECA, FERNANDES e PEREIRA, 2017; SCHELLER, SORGATO, *et al.*, 2015).

3.3.2 Sistemas zenitais

Dentre as tipologias existentes foram adotados três sistemas para avaliação da metodologia: claraboias, sheds e lanternins.

A fim de verificar a influência na distribuição da luz natural interna para cada uma das tipologias, foram adotados dois critérios primordiais: a porcentagem de área de abertura da cobertura e o posicionamento das aberturas. A porcentagem de área de abertura é importante por que possibilita avaliar de forma comparativa os diferentes sistemas zenitais, enquanto o posicionamento das aberturas influencia na forma de distribuição da luz pelo espaço.

Aos valores percentuais de área de abertura da cobertura atribuímos a denominação *fator de abertura*. Estes fatores foram calculados considerando a área total da cobertura e as dimensões variáveis das aberturas zenitais. Para isso, foram definidos os critérios de variação e dimensionamento de cada tipologia zenital a fim de manter o mesmo fator de abertura para as análises comparativas, conforme demonstra a Figura , em que ‘x’ representa a largura útil de abertura.

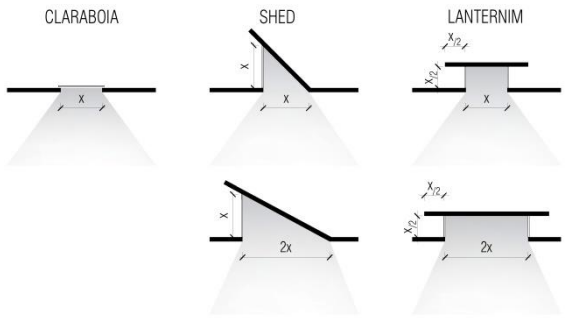


Figura 1 – Critérios de variação para cada sistema zenital.

Para a determinação de valores padrões para os fatores de abertura, foi adotado o sistema zenital do tipo claraboia como referência, considerando 04 zenitais transversais com 04 larguras úteis de abertura diferentes: 0,50; 1,00; 1,50; e 2,00 metros, conforme representado pela Figura . Através destas foram calculados os fatores de abertura resultantes, conforme Tabela e Equação 3, e que foram adotados posteriormente em todas as tipologias zenitais e análises.

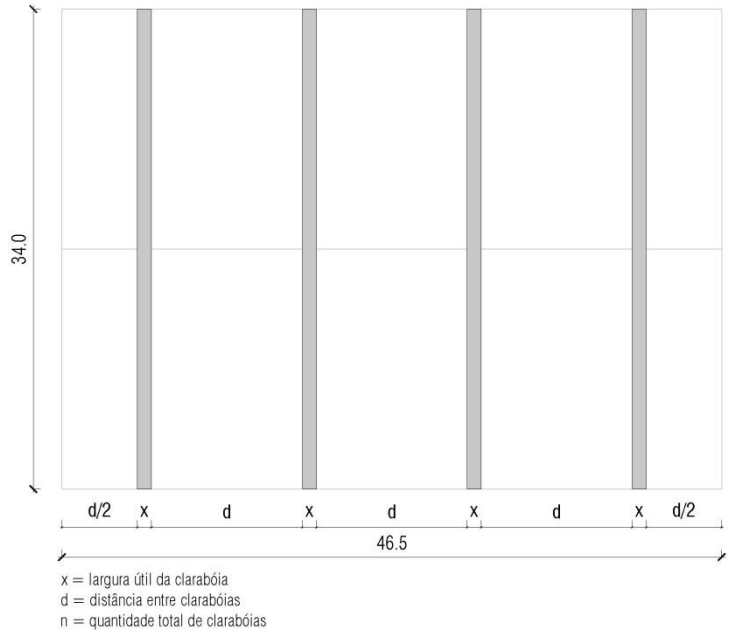


Figura 2 – Referência de distribuição das claraboias para o cálculo do fator de abertura.

Tabela 1 – Cálculo de referência dos fatores de abertura pela área de cobertura.

Largura da claraboia (x)	*0,50m*	*1,00m*	*1,50m*	*2,00m*	*Cobertura total*
Área (m²)	68	136	204	272	1.581
Fator de abertura (%)	**4,3**	**8,6**	**12,9**	**17,2**	100

$$Fator\ de\ abertura = \frac{(x.n).34}{1.581} . 100\ [\%] \quad \text{Equação 3}$$

3.3.3 Parâmetros de Avaliação

Para analisar o comportamento luminoso dos sistemas zenitais e seus efeitos nos usuários, foram utilizadas medidas dinâmicas de verificação das iluminâncias e das luminâncias.

3.3.3.1 Medidas dinâmicas de Iluminâncias

Na primeira etapa de avaliação dos sistemas zenitais foram simuladas as iluminâncias, buscando alcançar os valores recomendados pelas organizações internacionais. As iluminâncias foram simuladas com uso da medida dinâmica sUDI (*Spatial Useful Daylight Illuminances*) avaliando a porcentagem da área de iluminação dentro do intervalo mínimo de 300 lux e máximo de 2.000 lux, pela fração de horas de operação das quadras poliesportivas definido das 08 às 18 horas todos os dias da semana. Para este estudo, a utilização desta medida se apresentou ser mais completa, pois permitiu estabelecer limites úteis para admissão de luz natural, identificando um limite superior de iluminação que detecta as áreas com excesso de luz natural dentro no ambiente.

Para fins de estudo, este trabalho considerou como critério de avaliação para os resultados de sUDI[300-2.000lux,50%h] que, para o ambiente analisado ser considerado como “neutro” ou “nominalmente aceitável”, ele

deve ter pelo menos 50% da área com iluminação natural dentro do intervalo de 300-2.000lux,50%h ao longo do ano para as horas de operação determinadas. Para gerar os resultados da medida sUDI, foram realizadas simulações computacionais da métrica UDI pelo *plugin Grasshopper* utilizando o *Diva for Grasshopper*, ambos integrados ao *software Rhinoceros*, e as análises espaciais para cálculo da área (sUDI) foram realizadas com o *software Excel* através dos dados numéricos resultantes após a simulação.

Na segunda etapa de avaliação dos sistemas zenitais foram analisados os resultados da medida dinâmica ASE (*Annual Sunlight Exposure*), com o intuito de auxiliar na investigação do potencial de desconforto visual de cada uma das tipologias. Os resultados dessa etapa determinaram a porcentagem do ambiente que excedeu 1.000 lux de luz solar direta por mais de 250 horas anuais, dentro do período de operação definido das 08 às 18 horas.

Neste estudo, como critério de avaliação para os resultados de ASE, para um ambiente ser considerado como tendo conforto visual insatisfatório, considerou-se ampliar a porcentagem máxima da área recomendada pela LM-83 (IES, 2012) de 10% para 30%, a fim de avaliar se valores maiores também podem estar associados a perturbações visuais, visto que a recomendação da IES de 10% ainda não inclui uma variedade suficiente de estudos para entender melhor as faixas de tolerância nos espaços. Os dados de ASE foram resultantes das simulações realizadas no *plugin Diva for Grasshopper*.

Para todas as análises de iluminância foram definidos pontos de medição dentro do ambiente de metro a metro e os parâmetros do *Radiance* foram ajustados conforme as necessidades e ajustados podem ser observados na Tabela .

Tabela 2 – Parâmetros do *Radiance* utilizados nas simulações de iluminâncias.

Parâmetros	Código	Valor utilizado	Parâmetros	Código	Valor utilizado
Precisão do ambiente	-aa	0.2	Transmissão direta	-dr	2
Margem do ambiente	-ab	7	Amostragem direta	-ds	0.2
Divisões do ambiente	-ad	1024	Max. radiação refletida	-lr	6
Resolução do ambiente	-ar	256	Min. radiação refletida	-lw	0.004
Super-amostra do ambiente	-as	256	Limiar especular	-st	0.15
Instabilidade direta	-dj	0	Amostragem especular	-ss	1

3.3.3.2 Distribuição das Luminâncias

Na terceira etapa de avaliação foram simuladas as luminâncias (brilhos) dos sistemas zenitais que atenderam aos requisitos das duas etapas anteriores de avaliação das iluminâncias: $sUDI_{[300\text{-}2.000lux,50\%h]} \geq 50\%$ área da área e $ASE_{[1.000lux,250h]} \leq 30\%$ da área.

Esse estudo das luminâncias visou avaliar a probabilidade de ocorrência de perturbações visuais aos esportistas em posições e direções visuais determinadas. Como em quadras poliesportivas o usuário é dinâmico e permanece em constante movimento, foram definidas mais de uma posição de análise dentro do ambiente para aproximação do aspecto dinâmico.

As avaliações de luminâncias foram realizadas com a ferramenta *Annual Glare* que está incluída no *Radiance* e calcula todas as variáveis para obtenção do índice DGP *(Daylight Glare Probability)*. Este índice é considerado atualmente um dos mais plausíveis e próximos da realidade de percepção visual dos usuários para condições de luz natural (JAKUBIEC e REINHART, 2011; GOEDERT, 2017). As simulações da ferramenta *Annual Glare* e do índice DGP foram realizadas pelo *plugin Diva for Rhino*, integrado ao *software Rhinoceros*.

Para as simulações de luminâncias os parâmetros do *Radiance* também foram ajustados conforme as necessidades, o que permitiu ajustar também o modo de visualização para *Cylindrical Panorama*, ampliando o campo visual para capturar a direcionalidade do brilho. Os parâmetros ajustados estão na Tabela .

Tabela 3 - Parâmetros do *Radiance* utilizados nas simulações de luminâncias.

Parâmetros	*Código*	*Valor utilizado*	*Parâmetros*	Código	Valor utilizado
Precisão do ambiente	-aa	0.2	Super-amostra do ambiente	-as	256
Margem do ambiente	-ab	7	Tipo de visualização	-vt	c
Divisões do ambiente	-ad	1024	Tamanho visualização vertical	-vv	150
Resolução do ambiente	-ar	256	Tamanho visualização horizontal	-vh	360

De forma sintética, as etapas de avaliação das medidas dinâmicas aplicadas a todos os sistemas zenitais estudados encontram-se resumidas na Figura .

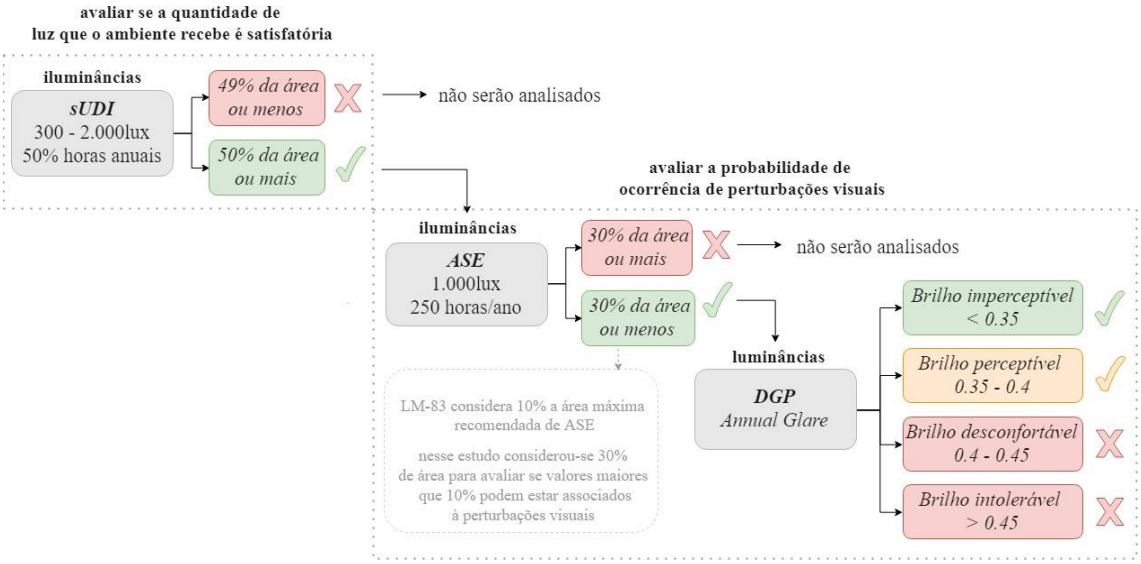


Figura 3 – Síntese esquemática das etapas de avaliação de iluminâncias e luminâncias.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Padrões construtivos

A fim de viabilizar essa etapa, foi adotada a cidade de Florianópolis (SC) como referência, onde foram identificadas 74 quadras poliesportivas fechadas instaladas em instituições de ensino municipais, estaduais, federais e privadas, além de outras instituições esportivas públicas e privadas.

Pelos resultados encontrados foi possível perceber que 53% possuem aberturas zenitais, onde, destas, 79% das instalações adotaram zenitais do tipo claraboia. Percebeu-se ainda que existem dois tipos de cobertura predominantes: de duas águas com 47% e curvas com 45%. Quanto à existência de arquibancadas, 51% das instalações comportam arquibancadas de pequeno, médio ou grande público.

4.2 Localização

Para simulação dos sistemas, foi definida a cidade de Florianópolis (SC) que possui latitude de 27º sul e longitude 48º oeste.

4.3 Características dos materiais internos – Refletâncias

Levando em consideração os materiais e acabamentos dos levantamentos da etapa 3.1, a Tabela apresenta as características adotadas. Posto isto, assume-se que a refletância do teto adotado para as análises está abaixo dos 70% recomendados, visto que este tipo de cobertura, em telha de aço galvanizado natural aparente, correspondeu a 85,1% dos resultados encontrados nas quadras analisadas.

Tabela 4 – Características padrões adotadas para o modelo-base.

Superfície	**Material ou Acabamento**	**Refletância***
Teto	Telha de aço galvanizado natural aparente	65%
Parede	Reboco pintado na cor branca gelo ou palha (bege claro)	55%
Piso	Piso de concreto com revestimento epóxi na cor azul	30%
Superfície	**Material ou Acabamento**	**Transmitância***
Vidro	Vidro comum	88%

* Valores de refletância e transmitância derivados dos materiais e cores de referência (IES, 2011; IES, 2012; PEREIRA e SOUZA, 2005; CASTRO, LABAKI, *et al.*, 2001; FERREIRA e PRADO, 2003; AKUTSU e VITTORINO, 1999).

4.4 Modelo-base tridimensional

Através da identificação dos padrões construtivos dessa tipologia de ambiente, foi possível criar um modelo padrão de quadra poliesportiva. As Figura e 5 representam de forma simplificada o modelo-base resultante.

4.5 Pontos de análise de luminâncias

Foram definidos 17 pontos para análise dentro do ambiente para aproximação do aspecto dinâmico, conforme indicado pela Figura . Destas 13 estão localizados dentro da quadra, configurados a 1,70m de altura, considerando a altura média de um jogador em pé; e 4 pontos estão localizados nas arquibancadas, configurados também a 1,70m de altura com relação ao nível da quadra, indicando a altura aproximada de um espectador sentado na arquibancada, conforme indicado pela Figura . A nomenclatura dos pontos foi determinada pela malha indicada, onde cada ponto possui também a representação da direção visual considerada.

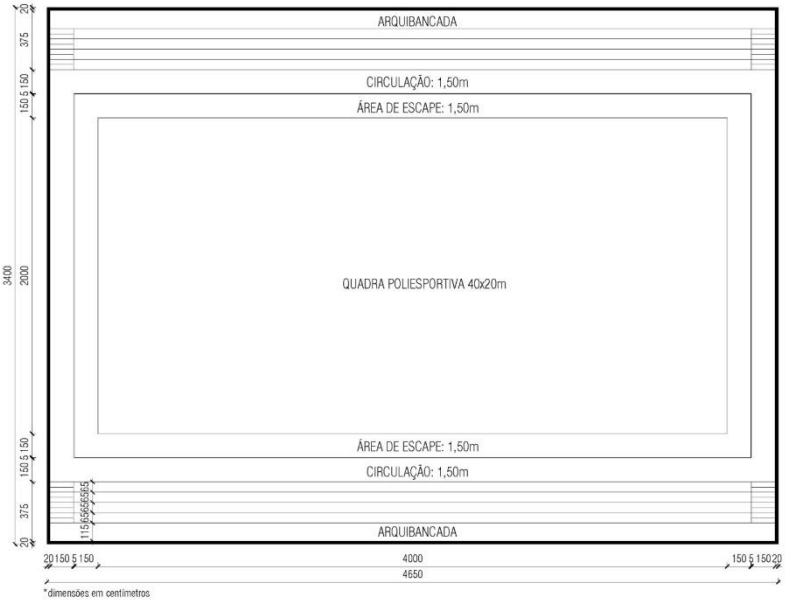


Figura 4 – Planta baixa do modelo-base de quadra poliesportiva.

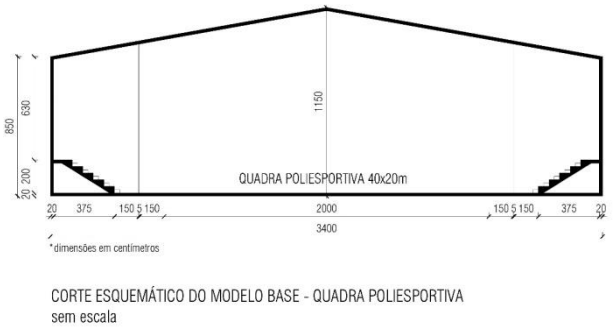


Figura 5 – Corte esquemático do modelo-base.

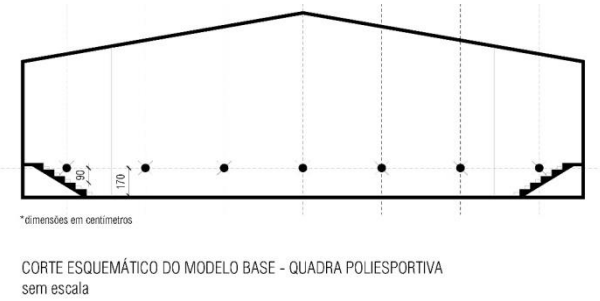


Figura 6 – Corte esquemático com a altura dos pontos de análise.

4.6 Medidas de avaliação

Pelas duas primeiras etapas de avaliação, 81 sistemas satisfizeram os critérios estabelecidos. Dentre estes, foram escolhidos os 20 sistemas que apresentaram os valores mais altos de ASE[1.000lux,250h], para as simulações e análises de brilho do índice DGP, buscando analisar a probabilidade de ocorrência de perturbações visuais aos usuários. Destes, é interessante notar que 9 sistemas estavam voltados à orientação geográfica leste, 6 para orientação oeste, 4 para norte e 1 para norte e sul, enquanto 15 sistemas possuíam fator de abertura da cobertura de 8,6%, 3 possuem fator de abertura 12,9%, 2 apresentam fator 4,3%.

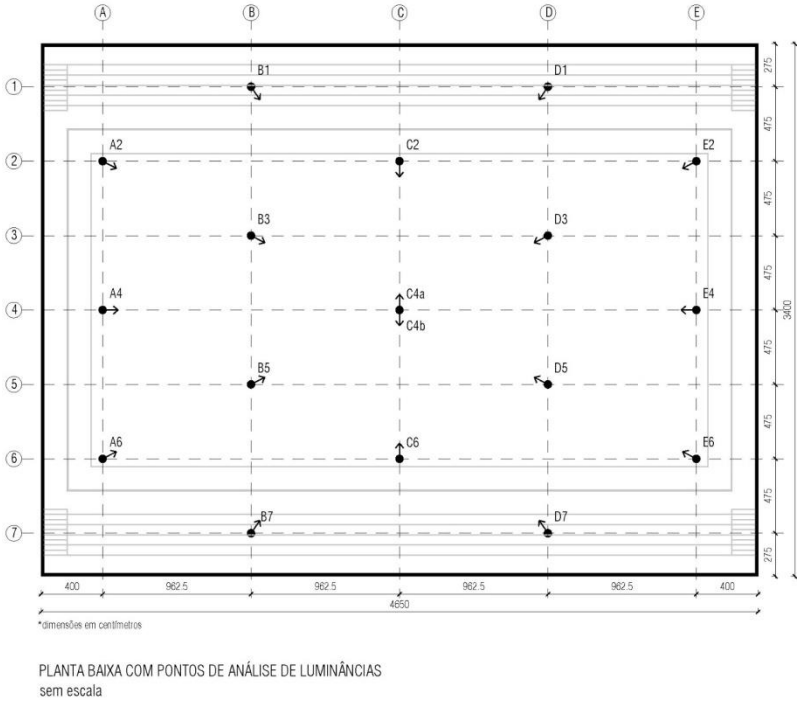


Figura 7 – Pontos de análise de luminâncias.

Dos resultados encontrados, pôde-se notar que dentre todos os sistemas analisados a tipologia de sistema zenital lanternim foi a que obteve os melhores resultados, onde, dos 64 lanternins analisados, 43 sistemas atenderam às etapas de avaliação de iluminâncias, o que correspondeu a 53% dos 81 sistemas que obtiveram resultados satisfatórios. Além disso, este foi o único sistema que não passou pela terceira etapa de avaliação, visto que seus resultados de ASE[1.000lux,250h] foram nulos ou inferiores a 5% da área.

Já a tipologia de sistema zenital *shed* apresentou 37 sistemas, dos 96 analisados, que atenderam aos parâmetros requeridos de iluminância, o que correspondeu a 46% do total de resultados satisfatórios das duas primeiras etapas de avaliação. No entanto, esta tipologia também apresentou a maior quantidade de sistemas para as análises de brilho através do índice DGP, ao todo foram 19 sistemas analisados. É interessante notar aqui que, os 18 sistemas que não foram para terceira etapa de avaliação, apresentarem ASE[1.000lux,250h] de 0% da área e possuem orientação geográfica sul.

Por sua vez, a tipologia de sistema zenital claraboia resultou em somente 1 sistema dos 40 analisados, que atendeu aos parâmetros de iluminân direção de visãomeiras etapas de avaliação, o que correspondeu a 1% do total de sistemas satisfatórios, onde este também foi analisado pelo índice de probabilidade de ocorrência de perturbações visuais, resultando insatisfatório.

5. CONCLUSÕES

Esta pesquisa analisou três tipologias de sistemas zenitais - claraboias, *sheds* e lanternins, onde cada uma das tipologias abrangeu variações quanto às dimensões e à porcentagem de abertura para penetração da luz no espaço, buscando aferir uma metodologia de avaliação do aproveitamento da luz natural nas quadras poliesportivas.

No decorrer da pesquisa algumas limitações influenciaram no andamento e na análise dos resultados. Com relação à criação do modelo-base: algumas características construtivas das quadras poliesportivas levantadas apresentaram diferenças pequenas na quantidade de amostras com relação ao total levantado, como nos tipos de cobertura ou na existência de arquibancadas dentro da instalação, o que, portanto, demandaria a análise de uma amostragem maior de quadras em outras cidades para determinar a maior frequência padrão; ou deveria ser considerado o estudo de mais de um aspecto, gerando mais de um modelo-base. Ambos demandariam um tempo maior dentro desta pesquisa proposta e comprometeriam o tempo de execução dos procedimentos metodológicos seguintes.

Com relação às diretrizes de simulação adotadas: o número de tipologias diferentes de sistemas zenitais foi estipulado em somente três para viabilizar o estudo de maiores variações para cada sistema; o material

analisado para todos os sistemas foi somente o vidro transparente; e a quantidade de simulações de luminâncias com o índice DGP precisou ser reduzido, devido ao tempo demandado para conclusão de cada simulação.

De forma geral, a metodologia empregada foi satisfatória e adequada para fundamentar as formas de avaliação da luz natural realizadas para essa tipologia de ambiente. O emprego de simulações computacionais foi fundamental para permitir a realização de análises dinâmicas do ambiente luminoso ao longo de cada hora do dia, para todos os dias do ano, o que seria inviável através de mapeamentos em ambientes reais de quadras poliesportivas, que permitem apenas análises estáticas e pontuais. No entanto, ao longo do estudo foram necessários ajustes do método para a realização das etapas, onde pôde concluir-se que:

- A etapa de identificação e levantamento de padrões construtivos em ambientes reais na cidade de Florianópolis (SC) demandou um tempo maior do que o previsto, no entanto, foi fundamental pois permitiu ampliar o conhecimento inicial da quantidade de quadras poliesportivas que já adotavam sistemas zenitais, além de permitir a criação de um modelo-base com as características construtivas mais frequentes, aproximando os resultados desse estudo da realidade construtiva desse tipo de instalação.
- Já o emprego de simulações computacionais permitiu a análise dinâmica do ambiente luminoso ao longo de todo o ano, o que seria inviável através de mapeamentos reais. As simulações, no entanto, precisaram sofrer alterações quanto aos *softwares* e *plugins* utilizados, onde concluiu-se que:
    - O *plugin* de modelagem paramétrica *Grasshopper* otimizou o tempo de modelagem dos sistemas e suas variações;
    - O *plugin* de simulação *Diva for Grasshopper* foi satisfatório para realização dos cálculos de iluminância de todos os modelos, no entanto, dificultou as simulações de luminância pelo tempo de simulação demandado para cada um dos sistemas, inviabilizando a sua utilização. Este tempo esteve atrelado à forma como os resultados são expostos após a simulação, gerando imagens separadas para cada hora do dia, para todos os dias do ano, para cada direção visual determinada.
    - Diante deste entrave, todos os modelos foram exportados para o *software Rhinoceros* e suas luminâncias simuladas pelo *plugin* de simulação *Diva for Rhino*, o que permitiu alcançar o mesmo resultado esperado com o índice DGP através de um único gráfico anual, reduzindo para aproximadamente 1/5 o tempo de simulação de cada modelo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKUTSU, M.; VITTORINO, F. Desempenho térmico de Telhas de Alumínio. V ENCAC e II ELACAC - Encontro Nacional e Latino-americado de Conforto no Ambiente Construído. Fortaleza, Ceará, 1999.

ANDERSEN, M. Unweaving the human response in daylighting design. Building and Environment 91, 2015. 101-117.

BOYCE, P. R. Human Factors in Lighting. CRC Press - Taylor & Francis Group, v. 3ª edição, 2014.

BOYCE, P.; HUNTER, C.; HOWLETT, O. The benefits of daylight through windows. Rensselaer Polytechnic Institute. New York. 2003.

BRASIL. Diagnóstico Nacional do Esporte - O Perfil do Sujeito Praticante ou não de Esportes e Atividades Físicas da População Brasileira. Ministério do Esporte. 2016.

CABUS, R. C. Análise do desempenho luminoso de sistemas de iluminação zenital em função da distribuição de iluminâncias. (Dissertação de Mestrado). Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1997.

CASTRO, P. D. A. S. et al. Medidas de Refletância de Cores de tintas através de Análise Espectral. VI ENCAC e III ELACAC - Encontro Nacional e Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído. São Pedro, São Paulo, 2001.

CBFS. Livro Nacional de Regras 2018 - Aprovado pela FIFA. Fortaleza, Ceará: Confederação Brasileira de Futebol de Salão, 2018.

CIBSE. Daylighting window design: Lighting Guide LG10. Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE), 1999.

CULLEY, P.; PASCOE, J. Sports facilities and technologies. New York: Routledge, 2009.

CZEISLER, C. A.; GOOLEY, J. J. Sleep and Circadian Rhythms in Humans. Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology 72, 2007. p. 579-597.

DIDONÉ, E. L.; PEREIRA, F. O. R. O potencial da luz natural na economia de energia elétrica para a iluminação artificial. Revista Tecnológica , Maringá, n. Edição Especial ENTECA, p. 24-34, 2009.

EDWARDS, L.; TORCELLINI, P. A Literature Review of the Effects of Natural Light on Building Occupants. Colorado. 2002.

FERREIRA, F. L. S.; PRADO, R. T. A. Medição do albedo ou refletância dos materiais utilizados em coberturas de edifícios no Brasil. VII ENCAC e III COTEDI - Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e Conferência Latino-Americana sobre Conforto e Desempenho Energético de Edificações. Curitiba, Paraná, 2003.

FONSECA, R. W. D.; FERNANDES, F. F. D. A.; PEREIRA, F. O. R. Zoneamento Bioclimático referente à Iluminação Natural para o Território Brasileiro. XIV ENCAC - X ELACAC: Encontro Nacional e Latino-Americano de Conforto no Ambiente Contruído. Balneário Camboriu, 2017. p. 1889 - 1898.

GODOY, R. V.; FONSECA, J. R.; VARGAS, J. G. Eficiencia lumínica en arquitectura. Bogotá: Ediciones Uniandes, 2004.

GOEDERT, G. S. Verificação da Influência do Tempo e da direção do Olhar na Probabilidade de Ofuscamento (Dissertação de Mestrado). Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2017.

IBGE. Perfil dos Estados e dos Municípios Brasileiros: Esporte: 2016. Rio de Janeiro. 2017.

IES. The Lighting Handbook 10th Edition, Reference and Application. New York: Illuminating Engineering Society of North America, 2011.

IES. IES LM-83-12. New York. 2012.
IHM, P.; NEMRI, A.; KRARTI, M. Estimation of lighting energy savings from daylighting. Building and Environment 44, Issue 3, 2009. 509-514.
JAKUBIEC, J. A.; REINHART, C. The 'Adaptative Zone' - A Concept for Assessing Glare Throughout Daylit Spaces. 12th Conference of International Building Performance Simulation Association. Sydney, 2011. p. 2178 - 2185.
KHANIE, M. S. et al. A Sensitivity Analysis on Glare Detection Parameters. IBPSA, 14th International Conference of the International Building Performance Simulation Association. Hyderabad, India, 2015.
KWAN, C. H.-Y. Towards Climate-Based Metrics: A Simulation Study of Annual Daylight Leveis in Thirty-One Gymnasia (Dissertação de Mestrado). Cambridge: Harvard University Graduate School of Design, 2009.
PEREIRA, F. O. R.; SOUZA, M. B. D. Apostila de Conforto Ambiental - Iluminação. Florianópolis: Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.
PHILLIPS, D. Daylighting: Natural light in architecture. Elsevier Architectural Press, 2004.
SCHELLER, C. et al. Análise de arquivos climáticos para a simulação do desempenho energético de edificações. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC. 2015.
VIANNA, N. S.; GONÇALVES, J. C. S. Iluminação e Arquitetura. São Paulo: Virtus S/C Ltda, 2001.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES e ao CNPq pela bolsa de pesquisa e recursos financeiros aplicados (Processo PQ307179/2016-8).