

CONFORTO TÉRMICO EM ESCOLAS PADRÃO FDE: ABORDAGEM SOB O PONTO DE VISTA DO CONSUMO DE ENERGIA E O FATOR WWR

Sophia Uzum Sartori (IC) e Prof^a. Dr^a Loyde Vieira de Abreu Harbich (Orientador)

Contatos: uzumsophia@gmail.com e loyde.harbich@mackenzie.br

Apoio: PIBIC Mackenzie

RESUMO

Este trabalho tem como finalidade investigar edifícios do padrão de escola Fundação do Desenvolvimento da Educação (FDE) do ponto de vista térmico e lumínico a fim de relacionar a proporção de área envidraçada e opaca (*window-to-wall ratio*) com o desconforto térmico e consumo energético. Foram selecionados três estudos de caso do padrão FDE no estado de São Paulo, nas quais foram feitas simulações computacionais de ganho solar (*solar gains*) no *software Rhinoceros + LadyBug* e simulações de iluminância nos interiores das salas de aulas no *software ReluxPro*, além de análises de transmitância de calor nos materiais da envoltória dos edifícios. Os resultados mostraram que aberturas estratégicas tem a capacidade de trazer iluminação natural para o interior, fazendo com que o gasto energético de iluminações artificiais seja reduzido. Em contrapartida, traz a possibilidade de um ganho solar maior, causando aumento nas temperaturas internas. Evidencia-se, portanto, a importância do fator *window-to-wall ratio* que promove um entremeio nessas dualidades. Constatou-se, por fim, a necessidade de pesquisas mais aprofundadas que possam desenvolver mais o objetivo de traçar diretrizes de conforto térmico para as escolas FDE.

Palavras-chave: Conforto, proteções solares, Ganho solar, Iluminância, Escolas FDE

ABSTRACT

This work aims to investigate buildings of the Fundação do Desenvolvimento da Educação (FDE) school standard from a thermal and luminous perspective in order to relate the proportion of glazed and opaque area (*window-to-wall ratio*) to thermal discomfort and energy consumption. Three case studies of the FDE standard in the state of São Paulo were selected, for which computational simulations of solar gains were conducted using Rhinoceros + LadyBug software, as well as simulations of illuminance within classroom interiors using ReluxPro software. Heat transmittance analyses were also carried out on the building envelope materials. Results shows that strategic openings have the ability to bring natural light into the interior, reducing the energy expenditure on artificial lighting. On the other hand, they present the possibility of increased solar gain, leading to higher internal temperatures. Therefore, the

importance of the window-to-wall ratio factor is highlighted, as it mediates these dualities. In conclusion, there is a recognized need for further in-depth research to better develop the objective of establishing thermal comfort guidelines for FDE schools.

Keywords: Comfort, Sun protections, Solar gain, Illuminance, FDE schools

1. INTRODUÇÃO

As escolas públicas estaduais do padrão da Fundação de Desenvolvimento da Educação, FDE, criado em junho de 1987, tem como objetivo implantar e gerir programas e projetos que focam no crescimento e aprimoramento da rede institucional pública. Os projetos são terceirizados por escritórios de arquitetura que elaboram todas as fases do projeto seguindo as diretrizes gerais desenvolvidas pela equipe técnica da FDE, em conformidade com as Normas Técnicas e a Legislação da Secretaria Estadual de São Paulo. As diretrizes relacionadas à conforto ambiental, como a implementação de elementos de fachada, foram incorporadas à leitura técnica de modo espontâneo e indireto (NOGUEIRA, 2011). Por serem adicionadas de forma indireta, a eficácia de tais aplicações pode não ser considerada ideal, de modo que ainda há um consumo exacerbado de energia, por exemplo.

De acordo com o Anuário Estatístico de Energia Elétrica divulgado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) (2021), a classe de consumo, a qual os edifícios-escola se aplicam, registrou um aumento gradual perceptivo de 2012 a 2019 de 4,4 GWh. É notório explicitar que a análise não abrange os anos de 2020 e 2021 devido a situação atípica da pandemia de Covid-19, que obrigou as escolas a permanecerem fechadas. Neste contexto de consumo, aspectos a serem considerados estão diretamente ligados com o destino de tal uso energético. A utilização do uso de energia artificial para iluminar ambientes internos dos edifícios é tipicamente a principal responsável. Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Iluminação (ABILUX), as escolas brasileiras têm, em quesito de consumo elétrico destinado a iluminação artificial, números que alcançam 90% de todo o uso (BERTOLOTTI, 2007).

Outro quesito a ser discutido é a insatisfação térmica dentro das salas de aula, que podem também contribuir ao uso de energia elétrica. A necessidade cada vez mais constante do uso de métodos artificiais de controle térmico, principalmente de ar-condicionado que exige um certo potencial energético, estão conectados com o presente aumento das temperaturas globais devido a mudança climática. Ghisi (2021) explicita a necessidade de estudos que abrangem a efetividade de alternativas para mitigar tais impactos que não exijam o abuso de energia elétrica, visto que alternativas artificiais são um fator essencial ao aquecimento global, criando assim um ciclo vicioso.

Além da problemática dos impactos sociais, nota-se o impacto econômico. Ghisi (1997) em sua dissertação de mestrado, analisou a incidência e resultado da iluminação natural em salas de aula do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina, com o objetivo de determinar o potencial de conservação energética. Concluiu que 9% de

economias possíveis poderiam ser gerados com a redução da iluminação artificial, uma vez que tal economia equivale a 0,9 GWh/ano que correspondia a aproximadamente R\$ 86.650,00 ao ano, o que atualmente com a mudança de parâmetros e tarifa de consumo, pode chegar a fundos mais altos.

O crescente consumo de energia vem acompanhado de consequências, como a escassez de fontes não renováveis e as emissões de CO₂ na atmosfera. Assim, estratégias de conservação energética se tornam cada vez mais relevantes para o desenvolvimento de normativas para as edificações. Segundo o Plano Nacional de Energia (EPE, 2020), nas metas estabelecidas para 2050 devem ser contemplados tanto os mecanismos de eficiência energética e os aperfeiçoamentos já existentes, quanto às novas políticas públicas em desenvolvimento para a área. O Balanço Energético Nacional (EPE, 2020) indica que o consumo total de energia elétrica de 2010 a 2019 aumentou em 17%, considerando todos os setores avaliados no balanço. Dentre os setores industriais, público, residencial e comercial, os dois últimos obtiveram o maior aumento de consumo, respectivamente 36% e 33%.

De acordo com o Governo do Estado de São Paulo (2017), o Manual de Economia de Energia Elétrica na Escola aponta que o principal consumo dos edifícios é com iluminação artificial, como aponta a Figura 1.

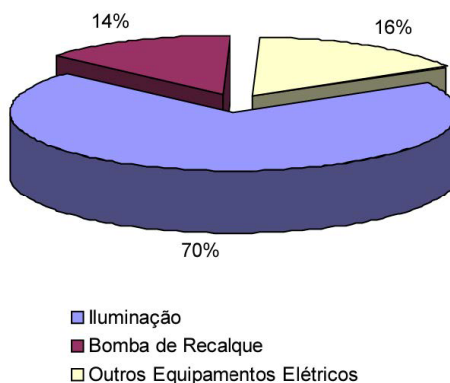


Figura 1: Perfil do consumo em unidades de ensino. Fonte: GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2017, p.6

O setor de energia é um dos principais responsáveis pelo impacto humano no meio ambiente. Este impacto está relacionado à emissão de gases de efeito estufa pela produção de energia e contribui diretamente para as mudanças climáticas (IEA, 2013). No ano de 2019, as edificações contribuíram com cerca de 52% do consumo de energia no Brasil (BRASIL, 2020). Com isso, é necessário melhorar a eficiência energética das edificações para garantir

um desenvolvimento sustentável. Contudo, para aplicar medidas realmente efetivas é necessário conhecer o desempenho das edificações.

O crescente consumo de energia vem acompanhado de consequências, como a escassez de fontes não renováveis e as emissões de CO₂ na atmosfera. Assim, estratégias de conservação energética se tornam cada vez mais relevantes para o desenvolvimento de normativas para as edificações. Segundo o Plano Nacional de Energia (EPE, 2020), nas metas estabelecidas para 2050 devem ser contemplados tanto os mecanismos de eficiência energética e os aperfeiçoamentos já existentes, quanto as novas políticas públicas em desenvolvimento para a área. O Balanço Energético Nacional (EPE, 2020) indica que o consumo total de energia elétrica de 2010 a 2019 aumentou em 17%, considerando todos os setores avaliados no balanço. Dentre os setores industriais, público, residencial e comercial, os dois últimos obtiveram o maior aumento de consumo, respectivamente 36% e 33%.

A proporção de áreas envidraçadas e opacas (*window-to-wall ratio*) entra diretamente na problemática aqui exposta, de modo que a necessidade de equilíbrio entre estas áreas reduz o consumo de energia com ar-condicionado e utilização de luz artificial. Sendo assim, objetivo da pesquisa é analisar os materiais da envoltória dos estudos de caso, do ponto de vista térmico e lumínico, comparar a proporção de área envidraçada e opaca destas escolas padrão FDE, e assim avaliar o seu consumo energético e delinear diretrizes projetuais de escolas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Para compreender a análise de consumo de energia em edifícios-escola, será usado o artigo “Análise estatística da intensidade do uso de energia de edificações escolares no Brasil: proposição de benchmarking simplificado”, de Geraldi et al. (2021). De acordo com os autores, os objetivos da pesquisa baseiam-se na necessidade de obter informações mais completas sobre o desempenho de energia de projetos escolares, uma vez que as informações e estudos da área não eram suficientes para se desenvolver um benchmarking – método de avaliação e qualificação de desempenho energético que é capaz de otimizar o uso de energia.

Por meio da metodologia de caracterização do estoque das edificações escolares, análises de indicadores de uso de energia (EUI), variação bioclimática e um benchmarking estatístico, os resultados foram de que tal método proposto é válido como primeira aproximação, além da confirmação de que há uma necessidade de abordar variação

bioclimática na coleta e desenvolvimento de dados, pois é determinante para os resultados (GERALDI et al., 2021).

Outro artigo fundamental à pesquisa intitula-se “Desempenho térmico e consumo energético em uma sala de aula padronizada: impacto do modelo de janela em duas cidades da ZB 8”, de Gouveia et al. (2021). O presente artigo traz como problemática a questão da padronização dos edifícios escola da rede estadual, que visa tal padronização pelos custos reduzidos. Entretanto, a construção padrão destes edifícios não levam em consideração os problemas de conforto resultantes. De acordo com os autores, existem diretrizes e normas de conforto térmico e ambiental, que são aplicadas de maneira genérica e não especificamente para cada edificação. A partir do momento que o conforto térmico é determinado por fatores climáticos, ambientais e fisiológicos (ASHRAE, 2017), ignorar as respectivas diferenças de locais de construção impacta em níveis insatisfatórios de conforto do interior dos edifícios.

A pesquisa tinha como objetivo analisar a tipologia de aberturas, sob a ótica de conforto ambiental e de consumo energético em duas cidades de estados diferentes, porém na mesma zona bioclimática. Os resultados, por meio de análises de caracterização das cidades e simulações computadorizadas, expuseram a diferença drástica entre as duas cidades. A localizada mais perto da linha do equador resultou em níveis altos tanto de indicadores de conforto quanto de consumo energético, chegando à conclusão de que para obtenção de uma edificação com bom desempenho é fundamental que o projeto seja planejado levando em consideração o máximo de particularidades da região onde ele será implantado (GOUVEIA et al., 2021).

Sob o ponto de vista da materialidade das fachadas, juntamente com a variação bioclimática apontada na pesquisa anterior, o artigo “A pele dos edifícios comerciais: análise de desempenho térmico dos sistemas de fachada e materiais de revestimento” problematiza a questão da envoltória de novos edifícios comerciais, de Destefani e Nico-Rodrigues (2021).

A pesquisa aponta que a fachada das edificações são elementos notórios em questões como transmitância de luz, calor transmitido e ventilação, e são determinantes no conforto térmico e luminoso. A pesquisa, que tinha como objetivo analisar o desempenho térmico das fachadas, demonstrou a necessidade de quase 100% de estratégias de climatização artificiais de conforto térmico, para edifícios que continham vidro como materialidade de envoltória externa principal. As autoras concluíram que os sistemas de fachadas que utilizam pele de vidro são menos eficientes energeticamente, contribuindo para o grande aquecimento dos ambientes internos (DESTEFANI; NICO-RODRIGUES, 2021).

A pesquisa de Pinto e Westphal (2021), que aborda a materialidade e fachadas envidraçadas, reafirma questões consideradas pela pesquisa de Destefani e Nico-Rodrigues

(2021), com relação à alta transmitância de calor por peles de vidro e a alta demanda de condicionamentos internos. Com o objetivo de verificar divergências nos resultados de conforto térmico ao aplicar diferentes modelos de ajuste do efeito da radiação solar, a pesquisa concluiu que os modelos trazem certa divergência entre si, de modo que os dois métodos que mais se aproximaram, considerados portanto mais eficientes, foram aqueles que utilizaram dados de radiação externa e principalmente o detalhamento da geometria solar e do espaço, sendo portanto de suma importância analisar todo o espaço da área em questão, que é o caminho que a pesquisa proposta por este projeto de pesquisa irá seguir.

O artigo “Influência de parâmetros da envoltória na classificação de eficiência energética de edificações de escritório com base no novo método de avaliação simplificado do PBE Edifica (INI-C)”, de JORDÃO et al. (2021), teve como objetivo avaliar a influência de parâmetros relacionados à envoltória de edificações de escritórios. Por meio de variações no tipo de vidro, percentual de abertura da fachada, sombreamento e a carga interna de iluminação, foram comparados resultados referentes às suas classificações de eficiência energética em duas cidades de grupos climáticos distintos: Cuiabá (MT) e Curitiba (PR). Os resultados mostram que o uso de vidro laminado e o percentual de abertura de fachadas em 40% demonstraram ser os mais eficientes energeticamente em todos os casos, independente das cidades.

Sob a ótica de simulações computacionais, a monografia “Iluminação natural e ganhos solares em edifícios” de VIEIRA (2020) trata de simulações de ganho solar e como estas impactam nos consumos de energia e as necessidades térmicas de cada edifício. Explicita que os resultados e soluções dados nestes estudos podem gerar diversas conclusões e discussões, fazendo com que as simulações sejam essenciais na coleta de resultados. A monografia “Konigsberger Vannucchi arquitetos associados: simulações paramétricas e análises de desempenho lumínico de edifícios residenciais produzidos entre 1992 e 2017 na cidade de São Paulo” de Boscardin (2021) também utiliza de ferramentas computacionais e compreende uma metodologia de estudos parecida, utilizando de softwares dos quais foram utilizados nesta pesquisa. O autor dilui o fluxo de trabalho em etapas, ajudando o entendimento e servindo de base para futuras análises.

Sendo assim, estudos sobre o consumo de energia em edificações e formas de economia de energia (através de simulações e análises de resultados) se fazem cada vez mais necessários para que o impacto negativo das edificações seja reduzido.

3. METODOLOGIA

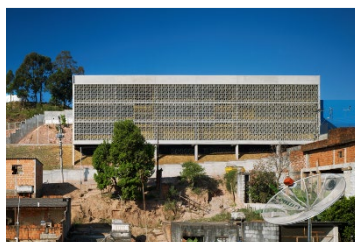
O método utilizado abordou questões quantitativas e qualitativas quanto a iluminação natural e o ganho solar nos ambientes de sala de aula dos estudos de caso, sendo eles a FDE Campinas (2004), FDE Parque Dourado V e FDE Várzea Paulista. O método de pesquisa consistiu em 3 etapas: levantamento de dados dos estudos de caso; simulação computacional e análise dos dados.

3.1 Levantamento de dados dos estudos de caso

A primeira etapa da pesquisa foi entrar em contato por e-mail, e quando necessário por redes sociais, com os escritórios terceirizados que realizaram os projetos das respectivas escolas, sendo eles MMBB (figura 2), FGMF e grupo SP, para a coleta de materiais gráficos destes projetos, desde plantas, cortes e fachadas até detalhamentos de vedações e revestimentos utilizados. Por sua vez, a maioria dos escritórios estava disposto a ajudar e cedeu grande parte dos materiais em apoio à pesquisa.



*Figura 2: Imagem FDE Campinas.
Fonte: Divulgação MMBB, 2003*



*Figura 3: Imagem FDE Várzea
Paulista. Fonte: Divulgação FGMF,
2008*



*Figura 4: Imagem FDE Escola
Pública de Votorantim. Fonte:
Divulgação gruposp, 2008*

Por conta da pandemia de Covid-19, as escolas limitaram as suas atividades no período de 2020 e 2021, entretanto, mesmo com a determinação de retorno às aulas presenciais no estado de São Paulo em 2022, as escolas permaneceram fechadas, impossibilitando a visita em campo para a conferência de medidas e revestimentos. Desse modo, as informações e referências utilizadas dos estudos de caso dependeram completamente do conteúdo que os escritórios forneceram.

3.1.1 FDE Campinas

A escola localiza-se na cidade de Campinas, onde no solstício de inverno possui incidência solar de 10 horas e 44 minutos e no solstício de verão de 13 horas e 32 minutos. O projeto abrange o ensino fundamental de 1ª a 4ª série, incluindo uma quadra poliesportiva. O térreo se desenvolve em torno da quadra sem divisões, preservando todo o terreno contínuo, do pátio aberto ensolarado do lado norte às entradas da escola no lado sul,

organizadas pelo bloco administrativo. Do mesmo modo, nos andares superiores, os espaços de circulação e convívio também foram organizados ao redor do vazio da quadra, que estabelece assim a conexão do conjunto dos espaços da escola. O projeto abrange uma área de 3.000 m² seguindo padrões de construção FDE dado pelo Governo do Estado de SP, tanto para o programa quanto para o sistema construtivo e suas metragens.

Deste estudo de caso, foram analisadas duas salas de aula, uma na orientação norte e uma na orientação sul onde ambas não apresentam proteções solares em suas fachadas.

Vedações	Revestimentos externos das salas	Proteções solares	Metragem	Localização
Bloco de alvenaria estrutural 19x19x39cm (Padrão FDE)	Reboco + Pintura acrílica azul	Não há nas salas de aula	Ambas com 7,0m x 7,0m x 3,20m (49,0m ²) (Padrão FDE)	2º Pavimento

Tabela 1: Ficha Técnica das salas de estudo FDE Campinas. Fonte: Autoria própria

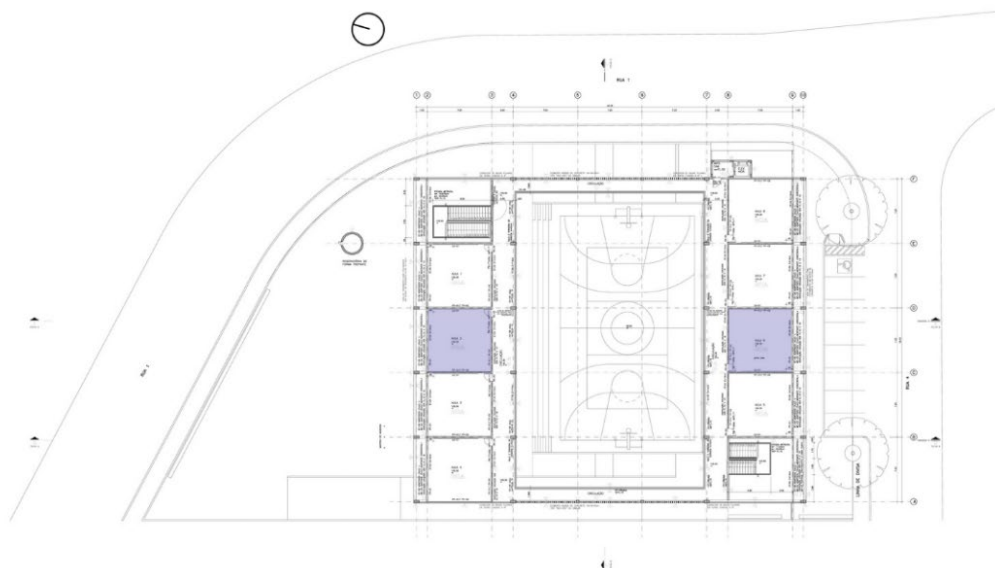


Figura 5: Imagem Planta segundo pavimento FDE Campinas com as salas de aulas do estudo. Fonte: Divulgação MMBB, 2003

3.1.2 FDE Várzea Paulista

O projeto localiza-se no município de Várzea Paulista, em São Paulo, em que no solstício de inverno o a incidência solar dura 10 horas e 47 minutos e no solstício de verão 13 horas e 34 minutos. Possui um bloco com três pavimentos e outro com apenas o piso térreo onde localiza-se a quadra. O térreo do prédio concentra funções administrativas, refeitório cozinha e banheiros. Os demais pavimentos são ocupados pelas salas de aula, salas-ambiente, informática e depósitos, além de salas de professores e diretores. O galpão coberto,

no térreo, tem pé-direito duplo e é totalmente aberto para a área de lazer externa. O projeto conta com 2700 m² de área construída seguindo também os padrões FDE de sistema construtivo e programático.

Deste estudo de caso foram analisadas salas de aula da orientação leste e da orientação oeste sendo que, ambas possuem proteções solares diferentes entre si.

Vedações	Revestimentos externos das salas	Proteções solares	Metragem	Localização
Bloco de alvenaria estrutural 19x19x39cm (Padrão FDE)	Reboco + Pintura acrílica amarela	Leste: Chapas metálicas perfuradas Oeste: Elementos vazados em concreto	Ambas com 7,0m x 7,0m x 3,20m (49,0m ²) (Padrão FDE)	2º Pavimento

Tabela 2: Ficha Técnica das salas de estudo FDE Várzea Paulista. Fonte: Autoria própria



Figura 6: Imagem Planta segundo pavimento FDE Várzea Paulista com as salas de aulas do estudo. Fonte: Divulgação FGMF, 2008



Figura 7: Imagem proteção solar chapas metálicas perfuradas. Fonte: Divulgação FGMF, 2008



Figura 8: Imagem proteção solar elemento vazado modular de concreto. Fonte: Divulgação FGMF, 2008

3.1.3 FDE Escola Estadual de Votorantim

Localizado no município de São Paulo, Votorantim, o solstício de verão o dia dura 13 horas e 30 minutos e no solstício de inverno o dia dura 10 horas e 28 minutos. O projeto contempla uma área construída de 3525 m² de modo que a escola está organizada em dois blocos, articulados por uma rampa que estabelece um vínculo entre ambos. O bloco didático, na face norte, está implantado no alinhamento do terreno e abre-se para um bosque. Todas as salas de aula desfrutam de uma mesma vista, com exceção dos estúdios e biblioteca que se relacionam com lado interno do conjunto. Novamente, conta com os padrões de construções programáticos e construtivos do modelo FDE.

Neste estudo de caso, há apenas uma orientação das salas de aula, sendo ela norte. Há a utilização de proteção solar em todo o seu entorno.

Vedações	Revestimentos externos das salas	Proteções solares	Metragem	Localização
Bloco de alvenaria estrutural 19x19x39cm (Padrão FDE)	Reboco sem pintura	Brisas verticais de madeira fixos	Ambas com 7,0m x 7,0m x 3,20m (49,0m ²) (Padrão FDE)	2º Pavimento

Tabela 3: Ficha Técnica das salas de estudo FDE Escola Estadual de Votorantim. Fonte: Autoria própria

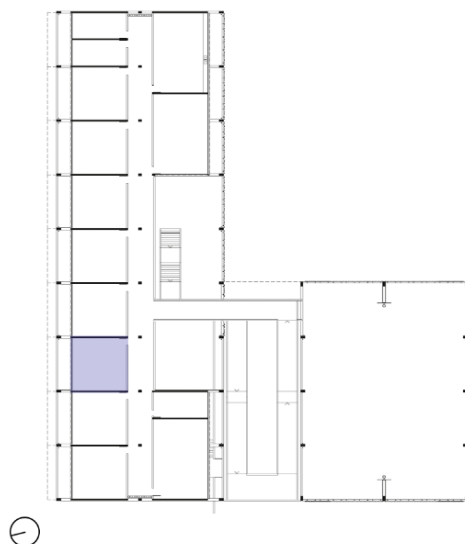


Figura 9: Imagem Planta segundo pavimento FDE Escola Estadual Votorantim com a sala de aulas do estudo. Fonte: Divulgação gruposp, 2008

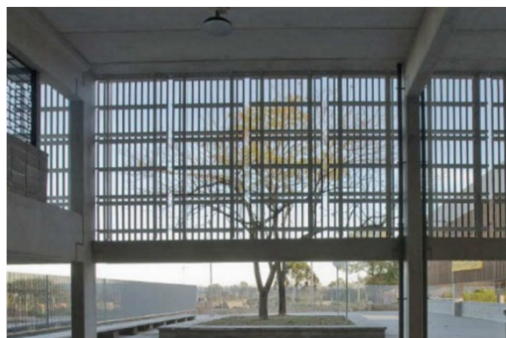


Figura 10: Imagem proteção solar brise de madeira escola FDE Votorantim. Fonte: Divulgação gruposp, 2008

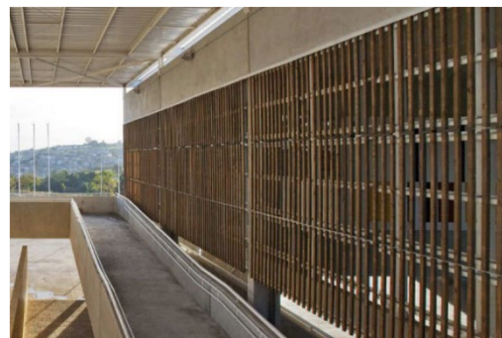


Figura 11: Imagem proteção solar brise de madeira escola FDE Votorantim. Fonte: Divulgação gruposp, 2008

3.2 Simulações computacionais

A partir disso, o método empregado foi:

- 1- Levantamentos 3D virtuais no software de arquitetura *Sketchup* dos projetos;
- 2- Compatibilização do Modelo 3D do *Sketchup* para o software *Rhinoceros* dentro do plugin *Grasshopper*, no qual a ferramenta *LadyBug* opera;
- 3- Desenvolvimento de simulações de ganho solar na ferramenta *LadyBug*¹;
- 4- Cálculo de transmitância solar das salas de aula (desempenho térmico);
- 5- Compatibilização do modelo 3D no software *ReluxPro*² para analisar a iluminância das salas de aula;
- 6- Comparação dos resultados de iluminância das salas de aulas com a norma de iluminação para trabalho vigente (NBR ISO/CIE 8995-1: 2013);
- 7- Conferência da proporção de área opaca e área envidraçada (*WWR*);
- 8- Análise da materialidade da envoltória através de valores de transmitância e absorptância;
- 9- Comparação dos resultados com a norma de transmitância de materiais em paredes externas (NBR ISO/CIE 15575-4: 2013);
- 10- Comparação e análise dos resultados obtidos.

A ferramenta *LadyBug* é um plugin do software *Rhinoceros 3D* que importa arquivos padrão do *EnergyPlus Weather* (.EPW) para o *Grasshopper*, que é uma interface de programação visual ativa que utiliza linguagem visual baseado em inputs e outputs, associados à lógica e matemática (algoritmos).

O *LadyBug* fornece uma variedade de gráficos climáticos interativos 2D e 3D de ganho solar, incidência de luz, ventos predominantes etc., que dão suporte para tomada de decisões

em estágios iniciais de projeto tanto quanto análise de projetos já finalizados. Os resultados desta simulação foram apresentados em Kwh/m^2 , quando se fala do quesito de ganho solar.

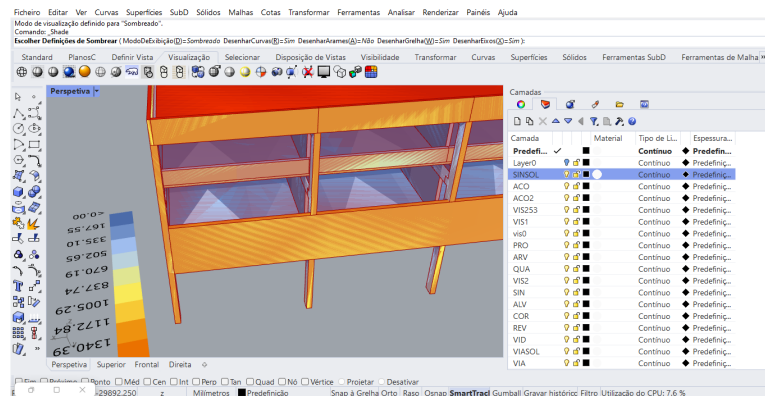


Figura 12: Imagem Software Rhinoceros com simulação de ganho solar. Fonte: Autoria Própria

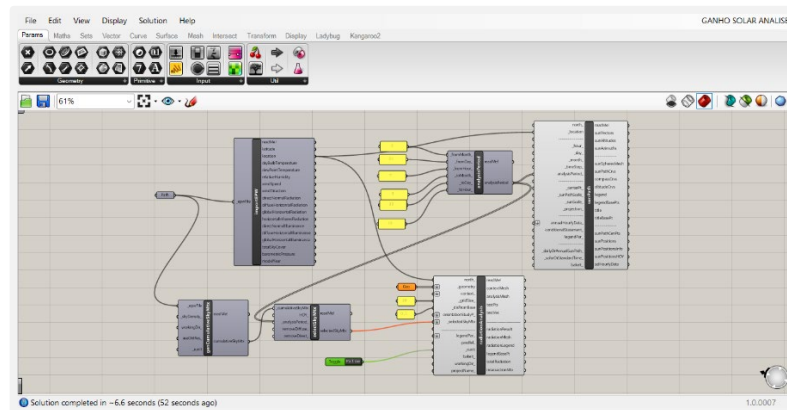


Figura 13: Imagem Software Grassopper + Ladybug com a programação de ganho solar. Fonte: Autoria Própria

O software *ReluxPro* é um aplicativo de alto desempenho operado para simular luz artificial e luz do dia simultaneamente. Neste caso, as simulações propostas foram apenas de luz natural, assim para observar a qualidade de aproveitamento do ganho da luz solar.

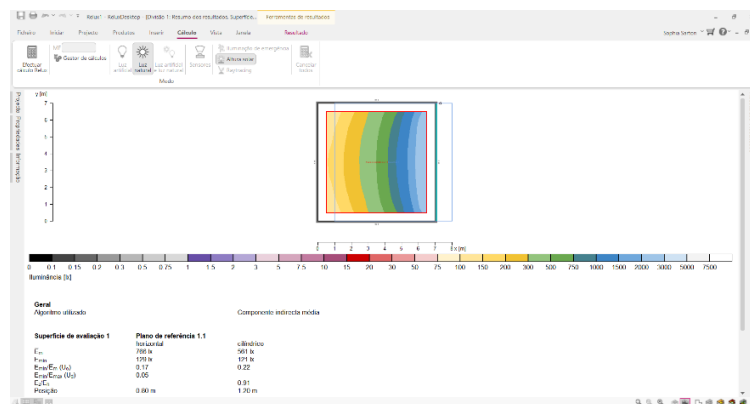


Figura 14: Imagem Software Relux com simulação de iluminação. Fonte: Autoria Própria

Sendo assim, com os 3 estudos de caso, considerou a escolha de uma sala de aula em cada orientação que existisse no projeto, para que a análise e discussão abrangessem todas as orientações, tornando a pesquisa mais rica.

3.3 Análise dos resultados

Os critérios utilizados para as simulações levam em consideração as mesmas datas e horários para que as comparações sejam viáveis de modo que a escolha foi um dos picos de atividade das escolas selecionadas nos estudos de caso, sendo esse o intervalo das 8 horas da manhã e o meio-dia. As datas em análise foram os solstícios de verão e inverno, de modo a comparar os ganhos solares e iluminância entre o dia mais longo e o mais curto do ano e a temperatura. Para analisar os resultados das simulações, utilizou-se estatística descritiva.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Ganhos Solares

Com o objetivo de analisar os ganhos solares das salas de aula dos edifícios selecionados, foi feita a simulação através do software *Rhinoceros* com a extensão *LadyBug*, com a finalidade de determinar as diferenças desses ganhos conforme orientação e proteções solares quando existirem.

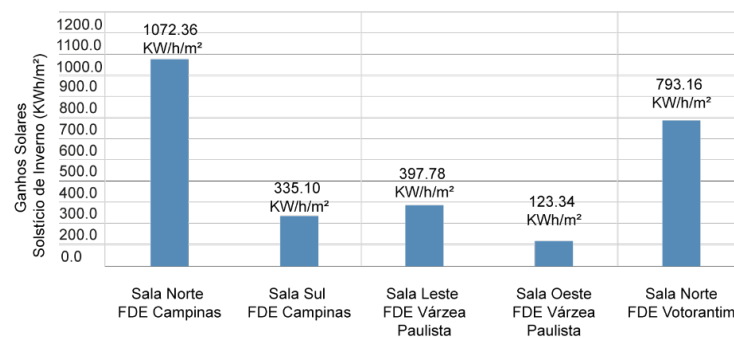


Gráfico 1: Resultados de ganho solar no inverno. Fonte: Autoria própria

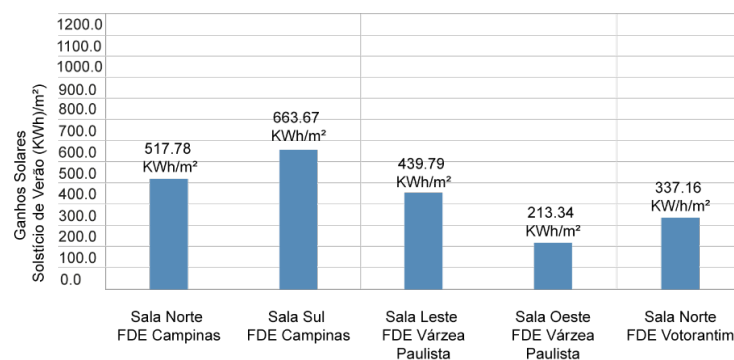


Gráfico 2: Resultados de ganho solar no verão. Fonte: Autoria própria

Pode-se analisar que a sala de aula de orientação norte que não possui proteção solar, a do estudo FDE Campinas, recebe um ganho solar em quantidades exacerbadas no solstício de inverno (onde a incidência de sol é direta nesta orientação), enquanto a sala de aula norte do estudo FDE Votorantim tem uma redução visível devido o uso de proteções solares. As orientações leste-oeste do estudo FDE Várzea Paulista têm o seu ganho controlado devido a utilização das proteções solares, em que estas seguram o ganho de calor. A orientação oeste recebe ainda menos ganho solar devido o horário de análise, em que não há incidência direta. A orientação sul do estudo FDE Campinas recebe apenas uma quantidade maior de ganho solar no período de verão devido a incidência, enquanto no inverno é mediana.

4.2 Iluminância média

Com o objetivo de analisar a iluminância das salas de aulas, foi proposta a simulação computacional utilizando o software *ReluxPro* de modo a comparar o ganho de luz natural nas diferentes orientações e quando proteções solares se fazem presentes ou não. As salas de aula foram configuradas com as paredes internas e tetos relativamente claros (concreto pré-moldado sem revestimento interno). Esta simulação, desenvolvida apenas com a iluminação natural, resulta na iluminância média no período proposto (Em) com a unidade em lúmens (lx).

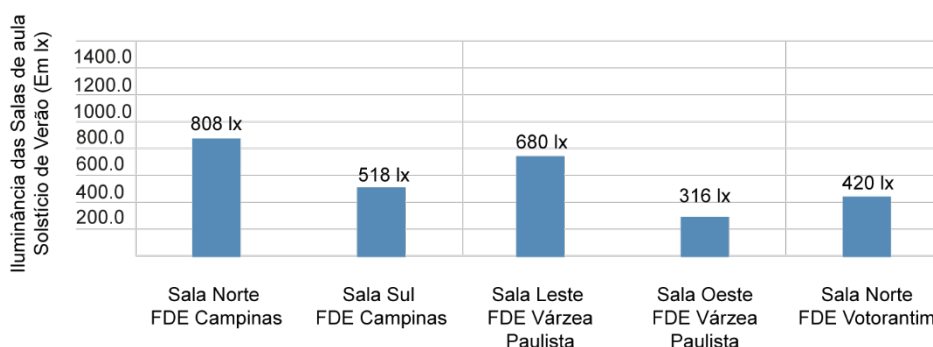


Gráfico 2: Resultados de iluminância média, solstício de verão. Fonte: Autoria própria

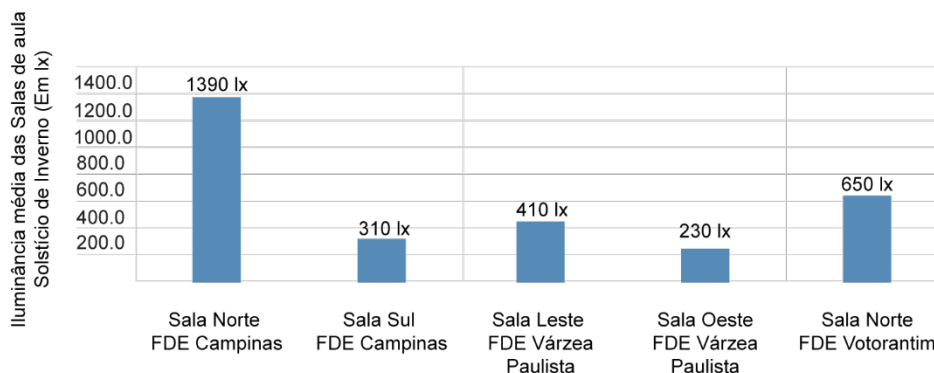


Gráfico 2: Resultados de iluminância média, solstício de inverno. Fonte: Autoria própria

Levando-se em consideração a norma de iluminância em trabalho vigente (NBR 8995-1, 2013) que exige um mínimo de 300 lx de iluminância média em salas de aula, a sala com proteção solar, do estudo de caso FDE Votorantim de orientação norte, atende a norma tanto no solstício de verão quanto no solstício de inverno. Já as que não possuem proteção solar na orientação norte, FDE Campinas, sofreram com um exacerbado ganho de luz natural. As salas leste-oeste, do estudo FDE Várzea Paulista em que ambas possuem proteções solares, no solstício de verão atendem a norma, entretanto no inverno, a sala com orientação oeste fica com uma alta taxa de sombreamento. A sala de orientação sul do estudo FDE Campinas, que não possui proteção solar, também atende a norma em ambos os solstícios.

As simulações também mostraram que, por mais que a norma de iluminância média foi atendida na maioria dos estudos de caso, a distribuição de luz natural nas salas de aula que possuem elementos de proteção, é precária. Isso faz com que haja a necessidade do uso de luz artificial e consequente gasto energético. Em contrapartida, as salas sem proteções solares com uma boa distribuição de luz e em excessiva quantidade, pode causar ofuscamento (LEAL e LEDER, 2018).

4.3 Transmitância dos materiais

Em função da análise dos materiais utilizados na envoltória, o valor de transmitância térmica entra em questão. O valor de U ($W/m^2.K$) nos diz se o material é um bom ou mau isolante, sendo quanto maior esse valor, pior o isolamento. Observa-se na tabela abaixo (ABNT NBR 15575-4, 2013), que o valor desta transmitância precisa respeitar níveis estabelecidos em diferentes zonas climáticas e valores da absorvância da superfície externa da parede em questão.

Transmitância Térmica U ($W/m^2.K$)		
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
$U \leq 2,5$	$\alpha^a \leq 0,6$	$\alpha^a > 0,6$
	$U \leq 3,7$	$U \leq 2,5$
α^a é a absorvância à radiação solar da superfície externa da parede		

Tabela 4: Tabela de Transmitância Térmica dos materiais presente na NBR 15575-4. Fonte: ABNT NBR 15575-4, 2013

Deste modo, através da coleta do valor de U dos materiais utilizados na envoltória dos estudos de caso e, levando-se em consideração a superfície externa e sua absorvância, os resultados variam. O padrão de utilização dos blocos de concreto nos estudos de caso possui um valor de U de aproximadamente $3.01 W/m^2.K$ (ProjetEEE, acesso em ago. 2023), fazendo

este material, quando utilizado sem revestimento como no estudo de caso da FDE Votorantim, encaixando-se na norma, de modo que em São Paulo a zona bioclimática predominante é a zona 3.

Os estudos de caso, entretanto, que possuem pinturas externas como a FDE Campinas e a FDE Várzea Paulista precisam levar em consideração o revestimento, neste caso pintura acrílica, das paredes externas e sua absorvância. Com a pintura acrílica amarela presente na FDE Várzea Paulista, o material ainda se encaixa na norma, de modo que o valor de absorvância desta cor de tinta é 0,44 (DORNELES, 2008), fazendo com que o U do material utilizado possa alcançar o valor de até 3,7 W/m².K. Já o caso da FDE Campinas, a cor azul possui uma absorvância de 0,7 (DORNELES, 2008), fazendo com que o material da envoltória precise atingir no máximo 2,5 de transmitância, sendo assim, estando fora de norma.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo investigou a realidade das salas de aula de escolas do padrão FDE, a fim de analisar o ganho solar, e consequente ganho térmico, e a disponibilidade de luz natural, estabelecendo assim relações com a razão de áreas opacas e envidraçadas dos estudos devido às proteções solares existentes.

A partir do software *Rhinoceros*, com a extensão de plugin *LadyBug*, foi capaz de observar os ganhos solares nas salas de aula e como as orientações e proporção de áreas envidraçadas e opacas são um fator determinante. Quando se obtém uma razão maior de áreas opacas sobre as envidraçadas, como no estudo de caso da FDE Várzea Paulista que conta com proteções solares fixas, o ganho solar é menor do que em situações como as da FDE Campinas, que não contém nenhuma proteção e tem uma razão de áreas envidraçadas maior. Sendo assim, em casos em que não há proteções solares, a necessidade de regulamento térmico é feita por métodos artificiais, tendo um maior gasto energético.

A partir do software *Relux*, que desenvolve simulações computadorizadas de iluminância, analisou-se como o comportamento da luz natural sofre grandes variações, sendo elas resultados também das orientações solares e, mais importante, a proporção de áreas opaca e envidraçadas. Pôde-se observar a diferença de iluminância média nas salas de aula que possuem proteção solar e aquelas que não possuem. O estudo da sala norte da FDE Campinas por exemplo, recebe uma grande quantidade de luz natural, havendo até a possibilidade de ofuscamento. Enquanto a sala oeste do estudo FDE Várzea Paulista recebe muito pouca luz, sendo insuficiente para a norma regida, sendo assim necessitando de luz artificial que é responsável também por um gasto energético.

O estudo de transmitância dos materiais, por sua vez, nos mostrou que a cor escura utilizada no estudo de caso da FDE Campinas torna-se inviável e fora de norma a utilização destes materiais da envoltória de modo a ajudar a transmitir os ganhos de calor de forma mais fácil para o interior das salas de aula.

Dito isso, conclui-se que há uma relação direta dos ganhos solares e iluminâncias com as proteções utilizadas. Deste modo, quando não há uma proteção, há muita entrada de luz natural e um ganho solar exacerbado; enquanto quando há proteção o ganho de luz natural é insuficiente e o ganho solar reduzido. Considera-se, portanto, ideal o uso de proteções reguláveis onde controlem a entrada da luz e o ganho solar no decorrer do ano e em suas estações, assim como iluminações artificiais que possam ser reguladas para que o seu uso na íntegra seja apenas em períodos essenciais. Desta maneira, vê-se essencial estudos que abrangem a utilização destas proteções reguláveis, assim como a descoberta de novas soluções para que cada vez mais apliquem-se estratégias de controle térmico e lumínico diminuindo gastos em estratégias artificiais que podem ser evitadas.

5. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) NBR 15220: **Desempenho térmico de edificações**. Rio de Janeiro. 2005.

BERTOLOTI, Dimas. **Iluminação natural em projetos de escolas**: uma proposta de metodologia para melhorar a qualidade da iluminação e conservar energia. 2007. 144 f. Monografia (Especialização) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

BOSCARDIN, Luiz. **Konigsberger Vannucchi arquitetos associados**: simulações paramétricas e análises de desempenho lumínico de edifícios residenciais produzidos entre 1992 e 2017 na cidade de São Paulo. São Paulo: Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2021. 328 p.

BRASIL. Balanço energético nacional 2018: Ano base 2019. 2020.

DESTEFANI, Liane B. G.; NICO-RODRIGUES, Edna A. A pele dos edifícios comerciais: análise de desempenho térmico dos sistemas de fachada e materiais de revestimento. In: ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 12., 2021, Palmas (TO). **Anais [...]**. Palmas (TO): Anais, 2021. p. 430-439. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/encac2021/337188-a-pele-dos-edificios-comerciais--analise-de-desempenho-termico-dos-sistemas-de-fachada-e-materiais-de-revestimento/>. Acesso em: 10 abr. 2022.

DORNELLES, Kelen Almeida. **Absortância solar de superfícies opacas: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA**. 2008. 160p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (BRASIL). Balanço Energético Nacional 2020: Ano base 2019. **Rio de Janeiro: EPE**, [s. l.], p. 264, 2020.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (BRASIL). **Resenha Mensal: O consumo de energia elétrica no Brasil em setembro de 2020 totalizou 40.227 GWh**. 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/imprensa/noticias/resenha-mensal-o-consumo-de-energia-eletrica-no-brasil-em-setembro-de-2020-totalizou-40-227-gwh>. Acesso em: 10 abr.

GERALDI, Matheus Soares et al. Análise estatística da intensidade do uso de energia de edificações escolares no Brasil: proposição de benchmarking simplificado. In: ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 12., 2021, Palmas (TO). **Anais [...]**. Palmas (TO): Anais, 2021. p. 1263-1272. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/encac2021/335031-analise-estatistica-da-intensidade-do-uso-de-energia-de-edificacoes-escolares-no-brasil--proposicao-de-benchmarki/>. Acesso em: 10 abr. 2022

GERALDI, Matheus Soares; GHISI, Enedir. **Mapping the energy usage in Brazilian public schools**. Elsevier: Energy & Buildings, Santa Catarina, v. 224, p. 1-17, jun. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778820302954>

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

GOUVEIA, Gilda Laysa Oliveira de et al. Desempenho térmico e consumo energético em uma sala de aula padronizada: "impacto do modelo de janela em duas cidades da ZB 8". In: ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 12., 2021, Palmas (TO). **Anais [...]**. Palmas (TO): Anais, 2021. p. 830-839. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/encac2021/340656-desempenho-termico-e-consumo-energetico-em-uma-sala-de-aula-padronizada--impacto-do-modelo-de-janela-em-duas-cid/>. Acesso em: 10 abr. 2022.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual de economia de energia elétrica nas escolas**. Disponível em: <https://midiasstoragesec.blob.core.windows.net/001/2019/03/manual-de-economia-de-energia-eletrica-na-escola.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2022.

IEA. **Total energy use in buildings: analysis and evaluation methods**. (Annex 53). 2016. Disponível em: https://www.iea-ebc.org/Data/publications/EBC_PSR_Annex53.pdf. Acesso em: 10 abr. 2022.

JORDÃO, Bárbara et al. Influência de parâmetros da envoltória na classificação de eficiência energética de edificações de escritório com base no novo método de avaliação simplificado do PBE EDIFICA (INI-C). In: ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 12., 2021, Palmas (TO). **Anais [...]**. Palmas (TO): Anais, 2021. p. 1381-1390. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/encac2021/340053-influencia-de-parametros-da-envoltoria-na-classificacao-de-eficiencia-energetica-de-edificacoes-de-escritorio-com/>. Acesso em: 10 abr. 2022.

LEAL, L. de Q.; LEDER, S. M. **Iluminação natural e ofuscamento: estudo de caso em edifícios residenciais multipavimentos**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 18, n. 4, p. 97-117, out./dez. 2018.

MESSAS, Mariana Moutinho Monteiro de. **Análise do consumo de água e energia elétrica nas escolas**. 2012. 49 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2012.

NOGUEIRA, Roselene de Araujo Motta Ferreira. **Arquitetura escolar estadual paulista: o desafio do Conforto Ambiental**. 2011. 147 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

PINTO, Mônica Martins; WESTPHAL, Fernando Simon. Avaliação de conforto térmico em estações de trabalho localizadas próximo a fachadas envidraçadas: modelos de ajuste solar. In: ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 12., 2021, Palmas (TO). **Anais [...]**. Palmas (TO): Anais, 2021. p. 668-677. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/encac2021/338898-avaliacao-de-conforto-termico-em-estacoes-de-trabalho-localizadas-proximo-a-fachadas-envidracadas---modelos-de-aj/>. Acesso em: 10 abr. 2022.

VIEIRA, Nuno Manuel dos Santos. **Iluminação Natural e Ganhos Solares em Edifícios**. Coimbra: Universidade de Coimbra, 2020. 64 p.