

Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP

Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo - FECFAU

Departamento de Arquitetura e Construção

Natália Sachie Shimasaki

**Análise comparativa de conforto térmico e ventilação natural
entre edifícios escolares com e sem certificação ambiental AQUA**

Campinas

2022

Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP

Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo - FECFAU

Departamento de Arquitetura e Construção

Natália Sachie Shimasaki

**Análise comparativa de conforto térmico e ventilação natural
entre edifícios escolares com e sem certificação ambiental AQUA**

Trabalho Final de Curso apresentado como
requisito parcial para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil à Faculdade de
Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da
Universidade Estadual de Campinas.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Leticia de Oliveira Neves

Campinas

2022

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Rose Meire da Silva - CRB 8/5974

Shimasaki, Natália Sachie, 1997-
Sh626a Análise comparativa de conforto térmico e ventilação natural entre edifícios escolares com e sem certificação ambiental AQUA / Natália Sachie Shimasaki. – Campinas, SP : [s.n.], 2022.

Orientador: Leticia de Oliveira Neves.
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

1. Ventilação natural. 2. Conforto térmico. 3. Edificações escolares. I. Neves, Leticia de Oliveira, 1980-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Informações adicionais, complementares

Título em outro idioma: Comparative analysis of thermal comfort and natural ventilation between school buildings with and without AQUA environmental certification

Palavras-chave em inglês:

Natural ventilation

Thermal comfort

School buildings

Titulação: Bacharel em Engenharia Civil

Banca examinadora:

Marcelo Rezende Calça Soeira

Evandra Ramos Victorio

Data de entrega do trabalho definitivo: 11-07-2022

**Análise comparativa de conforto térmico e ventilação natural entre edifícios
escolares com e sem certificação ambiental AQUA**

Natália Sachie Shimasaki

BANCA EXAMINADORA

.....
Prof^ª. Dr^ª. Leticia de Oliveira Neves
Orientadora

.....
Eng^o Marcelo Rezende Calça Soeira

.....
Arqt^a Evandra Ramos Victorio

Aprovado em: _____

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela vida.

À minha mãe Sônia, que sempre me deu apoio emocional, financeiro e que não mediu esforços para a realização do meu sonho de ser engenheira civil, além de ser meu maior exemplo de vida.

À minha orientadora Leticia, por toda contribuição, paciência, conhecimento compartilhado e atenção na condução deste trabalho.

À Paula, aluna de doutorado orientada pela Leticia, por toda colaboração e assistência prestada, incluindo o empréstimo dos equipamentos utilizados em sua pesquisa para as medições realizadas neste trabalho.

Ao meu namorado Leandro, por todo cuidado, apoio e suporte em todos os momentos e por sempre me acompanhar nas dificuldades da vida.

À minha amiga Stella, pela amizade, parceria, companheirismo e que foi meu braço “esquerdo” em todos esses anos de graduação.

Ao ProFIS – Programa de Formação Interdisciplinar Superior, pela honra de ter tido professores e amigos incríveis, além da oportunidade e privilégio de poder estudar o que eu amo em uma das melhores universidades do país.

Aos professores e toda comunidade da FECFAU que contribuíram não só para minha formação acadêmica, mas também como ser humano.

À minha amiga Caroline, pela amizade, apoio e pelos momentos de descontração que me ajudaram a superar os momentos difíceis.

À todas as amigas construídas na faculdade, que proporcionaram muitos momentos de alegria e estudo compartilhado.

À diretora Cida da E.E. Cláudia Francisco da Silva e à coordenadora Cláudia da E.E. Adriana Cardoso por terem aberto as portas das escolas para que fosse possível a realização deste trabalho.

RESUMO

A ventilação natural é uma das principais estratégias bioclimáticas recomendadas para climas quentes, em especial para ambientes escolares, devido à sua elevada taxa de ocupação, apresentando interferência direta na saúde, no conforto e no desempenho escolar dos estudantes e professores. Atualmente, o estudo da ventilação natural ganhou maior importância, em função da pandemia de COVID-19, em que cuidados especiais em relação à ventilação interna dos ambientes são necessários para que a transmissão desta e de outras doenças respiratórias sejam minimizadas. Diante deste cenário, esta pesquisa tem como principal objetivo comparar o desempenho em ventilação natural e conforto térmico de salas de aula de edificações escolares com e sem a certificação ambiental AQUA. Para isso, uma pesquisa de campo foi realizada por meio de medições de variáveis ambientais internas (temperatura do ar, temperatura radiante média, umidade relativa do ar e concentração de CO₂) e da operação manual de janelas, portas e ventiladores, em duas escolas públicas situadas em Campinas/SP e administradas pela Fundação para o Desenvolvimento da Educação (FDE). Uma das escolas selecionadas possui certificação AQUA e a outra não, de forma a permitir análises comparativas em termos dos potenciais benefícios trazidos pela certificação. As medições foram realizadas de forma simultânea em ambas as escolas e os dados monitorados foram tratados com auxílio da ferramenta MS-Excel. Comparando-se os resultados obtidos, pode-se concluir que de fato a sala de aula com certificação AQUA apresentou benefícios em relação à ventilação natural e ao conforto térmico, se comparada à sala de aula sem certificação. Ao comparar a amostra com e sem AQUA da base de dados, no entanto, foram evidenciadas poucas alterações no projeto arquitetônico em função da certificação e direcionadas ao conforto térmico e ventilação natural.

Palavras-chave: ventilação natural, conforto térmico, edificações escolares, certificação AQUA.

ABSTRACT

Natural ventilation is one of the main bioclimatic strategies recommended for hot climates, especially for school environments, due to its high occupancy rate, presenting direct interference on health, comfort and school performance of students and teachers. Currently, the study of natural ventilation has gained more importance due to the COVID-19 pandemic, in which care regarding the internal ventilation of environments is necessary in order to minimize the transmission of this and other respiratory diseases. Given this scenario, this research aims to compare the performance in natural ventilation and thermal comfort of classrooms of school buildings with and without the AQUA environmental certification. For this, a field research was conducted by means of measurements of indoor environmental variables (air temperature, mean radiant temperature, relative humidity and CO₂ concentration) and manual operation of windows, doors and fans, in two public schools located in Campinas/SP and administered by the Foundation for the Development of Education (FDE). One of the selected schools has AQUA certification and the other does not, in order to allow comparative analysis in terms of the potential benefits brought by certification. The measurements were performed simultaneously in both schools and the monitored data were treated with the help of MS-Excel tool. Comparing the results obtained, it can be concluded that the AQUA certified classroom did indeed present benefits in relation to natural ventilation and thermal comfort, when compared to the classroom without certification. When comparing the sample with and without AQUA certification, however, few changes in the architectural design were evident due to the certification and directed towards thermal comfort and natural ventilation.

Keywords: natural ventilation, thermal comfort, school buildings, AQUA certification.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	7
OBJETIVOS	9
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
Qualidade do ar em edifícios escolares	10
Programas de certificação ambiental	11
Escolas da Fundação para o Desenvolvimento da Educação (FDE)	13
MATERIAIS E MÉTODOS	14
Base de dados	14
3.1.1 Análise estatística	14
Pesquisa de campo	15
3.2.1 Caracterização das escolas selecionadas para estudo de caso	17
3.2.2 Medições de variáveis ambientais	19
3.3 Forma de análise de resultados	23
RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
4.1 Base de dados	24
4.2 Pesquisa de campo	29
4.2.1 Caracterização do clima de Campinas	31
4.2.2 Monitoramento de salas de aula	32
4.3 Análise comparativa entre salas de aula de escolas com e sem certificação AQUA	37
CONCLUSÃO	38
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39
ANEXOS	45

INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Um quinto da população mundial passa mais de 30% do seu tempo no interior de edifícios educacionais como escolas, faculdades e universidades e, portanto, a qualidade de aprendizagem e desempenho das diversas atividades realizadas nestes ambientes estão diretamente relacionadas à qualidade do ambiente interno (KAPOOR *et al.*, 2021). Além disso, atingir bons níveis de qualidade do ambiente interno em edifícios educacionais contribui na melhoria da saúde e da capacidade de aprendizagem dos alunos, além de aumentar sua produtividade e eficiência (KAPOOR *et al.*, 2021).

No Brasil, os prédios escolares apresentam falhas em diferentes aspectos, dentre eles questões relacionadas ao conforto ambiental de seus usuários. Além disso, de acordo com Kowaltowski (1999), existem estudos nacionais que demonstram que, no geral, as edificações escolares apresentam condições ambientais inferiores às esperadas, sendo as principais falhas relacionadas às condições de conforto térmico e da lotação excessiva das salas de aula. Ademais, a maior parte das escolas são consideradas quentes durante o período do verão e possuem ventilação inapropriada, o que se deve à má orientação das aberturas das salas em relação aos ventos e aos elementos de proteção solar serem implementados de forma inapropriada, gerando insolação excessiva (PAIXÃO, 1997). Um estudo realizado por Deco (2014), mostrou que a qualidade do ar de todas as 23 escolas de ensino básico e médio que foram analisadas, não satisfaziam o estabelecido por normas vigentes, apresentando níveis de poluentes como o CO₂ maiores que o permitido. Em concentrações acima de 5000 ppm por mais de 8 horas seguidas, o CO₂ pode representar riscos graves à saúde (SILVA *et al.*, 2019). Em concentrações acima de 3000 ppm já pode causar dores de cabeça, náuseas e tontura, sendo o limite máximo permitido pela portaria 353 A/2013 até 1250 ppm (QUADROS, 2008).

Os edifícios escolares devem assegurar condições adequadas de conforto ambiental, em especial acústicas, térmicas e de iluminação. Condições desfavoráveis como iluminação inadequada, altas temperaturas, ruído excessivo e alta densidade de ocupação das salas de aula podem afetar de forma direta os aspectos psicológicos e fisiológicos dos usuários e, consequentemente, as atividades realizadas no interior das salas de aula. (KOWALTOWSKI *et al.*, 2001). Edifícios insalubres são considerados prejudiciais pois podem acarretar vários tipos de doenças de transmissão aérea a longo prazo (KAPOOR *et al.*, 2021), como sarampo, rinovírus, tuberculose, gripe, síndrome respiratória aguda e, mais recentemente, COVID-19.

A Fundação para o Desenvolvimento da Educação é uma instituição que foi criada em 1987 e, desde então, é responsável por viabilizar a execução das políticas educacionais definidas pela Secretaria da Educação do Estado de São Paulo, além de implantar e gerir programas, projetos e ações destinados a garantir o bom funcionamento, crescimento e o aprimoramento da rede pública estadual de ensino (FDE, 2021). No estado de São Paulo, todos os edifícios educacionais públicos mantidos pela FDE possuem janelas operáveis manualmente, fornecendo ventilação natural. Além disso, a maioria também possui ventiladores operáveis manualmente. Desde 2008, a FDE adotou a certificação ambiental AQUA, deste modo, os edifícios mantidos pela FDE que atenderam os requisitos necessários da qualidade do ar interior e condições térmicas, foram legitimados pela certificação ambiental AQUA (KAGAN, 2021).

A certificação AQUA é uma certificação internacional da construção de alta qualidade ambiental, advinda da certificação francesa HQE (Haute Qualité Environnementale) e adaptada para as condições do Brasil pela Fundação Vanzolini (VANZOLINI, 2020). Os referenciais técnicos do AQUA foram desenvolvidos considerando a cultura, clima, normas técnicas e regulamentações do Brasil, fornecendo aos usuários economia de água e energia, melhores condições de conforto e saúde nos ambientes, melhor qualidade de funcionamento dos sistemas da edificação, redução das emissões de gases de efeito estufa, melhor qualidade de vida, entre outros (VANZOLINI, 2020). Esta certificação, adotada em alguns dos edifícios mantidos pela FDE, proporciona diversos benefícios tanto para os empreendedores e usuários como para a sociedade e o meio ambiente como um todo e, a princípio, deveria proporcionar um efeito positivo na melhoria das condições de ventilação natural e conforto térmico, em relação a edificações não certificadas.

A ventilação natural é uma estratégia bioclimática recomendada para a maior parte das zonas bioclimáticas brasileiras, segundo a NBR 15220 (ABNT, 2005). Seu uso contribui na obtenção de conforto térmico de usuários de edificações, pois permite controlar as perdas de calor da área ventilada e auxilia na redução das temperaturas internas dos ambientes, minimizando a necessidade de sistemas de condicionamento artificial de ar e, conseqüentemente, favorecendo a redução no consumo de energia elétrica, além de ser uma estratégia de baixo custo. Colabora também na melhoria da qualidade do ar interior (QAI), pois evita a concentração elevada de CO₂ no ambiente interno. Em edifícios escolares, a ventilação natural geralmente é obtida por meio da abertura das janelas das salas de aula, sendo o ventilador de teto ou parede usado como ventilação mecânica auxiliar (RACKES, *et*

al. 2015). Alguns fatores podem influenciar no desempenho da ventilação natural de edificações, como o tipo, a posição, o tamanho e a quantidade das aberturas para passagem de ar em um ambiente, o perfil de ocupação e a implantação do edifício em relação à direção dos ventos dominantes (EFTEKHARL *et al.*, 2001). A maior parte dos edifícios educacionais estão localizados em centros urbanos, uma vez que nestes locais há uma maior concentração da população na cidade, o que torna a estratégia da ventilação natural mais difícil de ser executada, devido às baixas velocidades do vento nestes locais da cidade (SIMÕES, 2016), o que reforça a necessidade de análises específicas, tendo em vista a implementação de soluções arquitetônicas de bom desempenho.

Em janeiro de 2020 a Organização Mundial da Saúde (OMS) anunciou o surto de COVID-19, doença respiratória considerada de alto risco em países que possuem o sistema de saúde vulnerável (SOHRABI *et al.* 2020). Devido aos inúmeros casos graves e de óbitos da doença, diversos estabelecimentos precisaram ser fechados, em especial os edifícios educacionais, que foram os primeiros afetados. A transmissão da COVID-19 ocorre de forma aérea por meio de gotículas ou por contato com superfícies e objetos infectados (ANVISA, 2003). Neste contexto, o uso da estratégia da ventilação natural faz-se muito importante, visto que proporciona a renovação do ar ambiente, contribuindo para a diluição e remoção de agentes infecciosos. (DECKER *et al.*, 2021) A estimativa de transmissão da doença em espaços fechados é 18,7 vezes maior, se comparada a ambientes ao ar livre (NISHIURA *et al.*, 2020) o que reforça o estudo de estratégias adequadas de ventilação natural em espaços escolares.

Levando-se em consideração o fato de as escolas públicas brasileiras e, em especial, do estado de São Paulo serem naturalmente ventiladas, este estudo justifica-se pela necessidade de oferecer salubridade com relação à qualidade do ar interior e, também, condições adequadas de conforto térmico aos usuários de ambientes escolares.

1. OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é realizar uma análise crítica comparativa do projeto da envoltória de salas de aula de edifícios escolares com e sem certificação AQUA (Alta Qualidade Ambiental), em termos de qualidade do ar interior (QAI), desempenho térmico e ventilação natural.

Os objetivos específicos são:

- Analisar criticamente o projeto da envoltória de 66 edifícios escolares da base de dados, construídos pela Fundação para Desenvolvimento da Educação (FDE) do estado de São Paulo a partir de 2008, estabelecendo comparações entre os edifícios com e sem certificação AQUA

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Levando-se em consideração as questões de salubridade em relação à qualidade do ar interior e do conforto térmico em salas de aula, especialmente das escolas públicas do estado de São Paulo, que são naturalmente ventiladas, realizou-se um estudo bibliográfico a fim de que seja possível embasar as análises realizadas neste estudo.

2.1. Qualidade do ar em edifícios escolares

As crianças passam a maior parte do seu tempo durante sua infância na escola (FAKHOURY, 2017), o que intensifica a importância de se ter qualidade na arquitetura escolar em diversos aspectos, uma vez que as crianças são mais vulneráveis às influências do ambiente, se comparadas aos adultos, pois as mesmas respiram mais rápido e possuem a taxa metabólica mais elevada, refletindo na inalação de mais ar, e consequentemente, mais poluentes em relação ao peso do corpo, além disso, possuem expectativa de vida maior, logo, dispõem de mais tempo para manifestar doenças relacionadas a ambientes sem qualidade (DENG; ZOU; LAU, 2021).

A ventilação natural é o fator responsável pela renovação do ar do ambiente interno em ambientes sem ventilação mecânica ou outra forma artificial de condicionamento, fazendo com que haja suprimento de oxigênio e a diminuição da concentração de gás carbônico, sendo relevante para a higiene e para o conforto térmico no verão, principalmente em regiões de clima quente (VIANA, 2013).

Segundo Olesen (2015), uma pesquisa realizada na Dinamarca apontou a falta de qualidade ambiental em escolas, acarretando em custos adicionais, incluindo custos com cuidados médicos. A avaliação da qualidade da ventilação do ambiente pode ser realizada através do monitoramento da concentração de dióxido de carbono (CO₂), uma vez que os usuários exalam CO₂ ao respirar, sua alta concentração pode ser um fator indicativo de uma renovação do ar não adequada (UBA, 2021), tornando este um ponto crítico para edifícios escolares, já que estes possuem alto índice de ocupação (HOU; KATAL; WANG, 2021). Olesen (2015) salienta os resultados obtidos na investigação realizada em mais de mil salas de

aula na Dinamarca, Suécia e Noruega, através de medições contínuas das taxas de CO₂, mostraram que apenas 44% das salas apresentaram níveis aceitáveis de concentração de CO₂ (intervalo entre 385 a 1.000 ppm). Sendo os piores resultados apresentados pelos ambientes naturalmente ventilados, por conta do fechamento das janelas, devido às baixas temperaturas externas e também pela ausência de um sistema de ventilação mecânico que proporcione a renovação do ar.

Temos que os principais problemas relacionados à qualidade do ar interior (QAI) são: sistemas de ventilação com manutenção e limpeza inapropriadas; taxas de renovação do ar insuficientes nos ambientes ocupados; má distribuição do ar, gerando altos índices de compostos orgânicos voláteis, substâncias alergênicas e mofo, além de elevadas temperaturas e umidades internas (PULIMENO et al., 2020).

É necessário, portanto, melhorar o projeto de prédios escolares para que se possa atingir indicadores mínimos de desempenho térmico, contribuindo para melhorar não somente a qualidade dos ambientes físicos de ensino, mas também para a educação como um todo, visto que a educação é um elemento de suma importância, além de ser capaz de provocar mudanças sociais, econômicas e tecnológicas (KOWALTOWSKI *et al.*, 2017). Por este motivo, as condições internas de salas de aula são consideradas fatores muito importantes para o conforto, a saúde e o processo de aprendizagem dos alunos, e para obter uma boa QAI é necessário um projeto que propicie ventilação apropriada para obter taxas de renovação de ar adequadas (FRANCESCHINI; LIGUORI; NEVES, 2021). É importante ressaltar que essas melhorias são necessárias principalmente em escolas públicas, uma vez que estas escolas se encontram, em sua maioria, em condições mais precárias.

2.2. Programas de certificação ambiental

Com o objetivo de avaliar o desempenho e o impacto ambiental de edifícios em termos de uso de energia, conforto térmico e QAI, foram desenvolvidos alguns programas de certificação (COLE; VALDEBENITO, 2013), sendo eles: Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), Leadership in Energy and Environmental Design (LEED), Alta Qualidade Ambiental (AQUA) e Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM) (KAGAN, 2021). Esses programas visam auxiliar os projetistas em seus processos de tomada de decisão, para que se alcancem construções mais sustentáveis (HORVAT; FAZIO, 2005). Existem alguns programas de certificação bastante utilizados no Brasil, mas para este trabalho a certificação Alta Qualidade Ambiental

(AQUA-HQE) será utilizada como referência, visto que é a certificação adotada pela Fundação para o Desenvolvimento da Educação (FDE) do estado de São Paulo em alguns de seus projetos escolares.

A certificação AQUA possui um olhar direcionado para as construções brasileiras, sempre buscando por inovações e melhorias no desempenho, permitindo a redução do consumo de água, energia, CO₂ e matérias-primas nas edificações, de modo a aumentar a qualidade de vida dos usuários e favorecendo o desenvolvimento socioeconômico e ambiental (BERNARDI, 2019). A certificação possui um guia prático e diversos referenciais técnicos que podem ser consultados de acordo com o tipo de edificação (AQUA, 2021).

Para este estudo, o referencial técnico AQUA-HQE que será utilizado é o “Qualidade Ambiental de Edifícios Não Residenciais em Construção” versão atualizada de 2021 (AQUA, 2021). Este referencial possui 14 categorias que são analisadas para a obtenção da certificação, tendo diferentes níveis de desempenho, sendo o nível B (Base) que é o nível mínimo necessário que se deve atender para conquistar a certificação, o nível BP (Boas Práticas) e o nível MP (Melhores Práticas) que são pontuações mais elevadas com maiores exigências, para este estudo foram considerados os requisitos do nível B.

As 14 categorias presentes no referencial técnico estudado são: (1) Edifício e seu entorno; (2) Produtos, sistemas e processos construtivos; (3) Canteiro de obras; (4) Energia; (5) Água; (6) Resíduos; (7) Manutenção; (8) Conforto higrotérmico; (9) Conforto acústico; (10) Conforto visual; (11) Conforto olfativo; (12) Qualidade dos espaços; (13) Qualidade do ar; (14) Qualidade da água. Os tópicos mais pertinentes a este estudo são os tópicos 4, 8, 10 e 13, que serão brevemente apresentados aqui.

O tópico 4 que fala sobre energia possui como parâmetro base a justificativa à concepção bioclimática através de uma nota que descreva a concepção do empreendimento em relação à volumetria, plano de massa, orientação das superfícies envidraçadas e componentes bioclimáticos, em função do contexto e das atividades desenvolvidas no ambiente. Deve também atender ao nível C nos equivalentes numéricos da envoltória, conforme o regulamento RTQ-C (INMETRO 2010), que afirma que a transmitância térmica de coberturas não deve ultrapassar 2 W/m²K para qualquer zona bioclimática e a transmitância térmica de paredes externas não deve ultrapassar de 3,70 W/m²K para as zonas bioclimáticas de 1 a 6. Este tópico ainda aborda sobre a redução comprovada de 20% do consumo de energia primária devido ao aquecimento, resfriamento, iluminação, aquecimento de água, ventilação e

equipamentos auxiliares ligados ao conforto dos usuários em relação a um consumo de referência (FUNDAÇÃO VANZOLINI; CERTIVÉA, 2021).

O tópico 8, que fala sobre conforto higrotérmico possui alguns parâmetros qualitativos, como: adoção de disposições arquitetônicas que otimizem o conforto higrotérmico e a obtenção de temperaturas de referência confortáveis durante os horários de ocupação, em que apenas uma justificativa teórica basta para atendimento aos itens. Traz como parâmetro quantitativo somente o regulamento RTQ-C para assegurar um nível mínimo de conforto térmico de ambientes de longa permanência não condicionados, sendo considerado o Nível C como parâmetro base, ao qual solicita que o percentual de horas ocupadas em conforto esteja em um intervalo de 60 a 70%, sendo considerado o conforto onde há satisfação psicofisiológica de um grupo de indivíduos com as condições térmicas do ambiente (FUNDAÇÃO VANZOLINI; CERTIVÉA, 2021).

O tópico 10, que fala sobre conforto visual dispõe de parâmetros qualitativos específicos para salas de aula, para que haja a otimização da iluminação natural e também para que a iluminação artificial seja confortável. Para a iluminação natural, temos: a disposição do acesso à luz do dia em 100% dos espaços e disposição do acesso a vistas em 100% dos espaços. Para a iluminação artificial, temos: disposição de um nível ótimo de iluminância respeitando os valores estabelecidos na norma (NBR ISO/CIE 8995-1), além da recomendação de que a iluminação seja controlável; da necessidade de identificação dos riscos de ofuscamento na iluminação artificial e da adoção de medidas para instalar luminárias em função do arranjo do ambiente.

O tópico 13, que fala sobre qualidade do ar também aborda parâmetros qualitativos (ou seja, em que basta uma narrativa teórica para atendimento ao item), sendo eles: garantia de vazões de ar adequadas às atividades do ambiente por meio da implementação de um ou mais sistemas específicos de ventilação (mecânica ou natural), sendo que somente a abertura das janelas não é suficiente. Se a ventilação natural for planejada e não for controlada, deve ser previsto um complemento de ventilação mecânica. (FUNDAÇÃO VANZOLINI; CERTIVÉA, 2021).

2.3. Escolas da Fundação para o Desenvolvimento da Educação (FDE)

A Fundação para o Desenvolvimento da Educação (FDE) do estado de São Paulo é responsável pela gestão e de todo o processo de construção de escolas públicas, além de ser responsável pelo projeto e pela construção de novas escolas, também é responsável pela

gestão e manutenção de cerca de cinco mil unidades de ensino fundamental e médio do estado (KOWALTOWSKI *et al.*, 2017). Desde 2008 o FDE adotou a certificação ambiental AQUA em suas edificações, contando atualmente com 20 escolas certificadas no estado de São Paulo (FDE, 2021).

Os edifícios escolares mantidos pela FDE são construídos por elementos pré-fabricados de concreto armado e, geralmente, os materiais e componentes de construção utilizados são padronizados, assim como os projetos das escolas, que não possuem muitas variações. Por exemplo, as salas de aula que possuem as dimensões iguais (7,20 m x 7,20 m) e a altura do piso ao teto que varia de 2,7 m a 3,0 m, além de possuírem tetos acústicos (KOWALTOWSKI *et al.*, 2017). Além disso, todos os prédios de escolas públicas do estado de São Paulo que são mantidos pela FDE possuem janelas acionáveis manualmente, permitindo a ventilação natural. A maioria das escolas também possui ventiladores de teto ou parede (FDE, 2021). Em razão disso, faz-se necessário o estudo da ventilação natural para garantir seu funcionamento apropriado.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho consiste em uma pesquisa descritiva baseada em estudo de caso. Foi organizado em três etapas principais, detalhadas a seguir.

3.1. Base de dados

A primeira etapa de trabalho consistiu na elaboração de um banco de dados contendo informações gerais e do projeto da envoltória de edifícios escolares projetados e construídos pela FDE a partir de 2008, ano em que a fundação adotou a certificação ambiental AQUA para alguns projetos. Dentre os 130 edifícios escolares pertencentes à FDE que estão localizados no estado de São Paulo, 20 possuem a certificação AQUA, sendo todos eles incluídos na amostra da base de dados. Além disso, tendo-se como base o ano de 2008 como recorte da amostra, foram também incluídos os projetos de 46 escolas não certificadas localizadas nas mesmas cidades das escolas certificadas, resultando em uma amostra de 66 edifícios escolares. Desta amostra, 33 edifícios estão localizados na cidade de São Paulo e o restante dos edifícios estão localizados em Campinas, Bauru, Itaquaquecetuba, Ourinhos, Adamantina, São Carlos e Conchal (KAGAN, 2021). A construção da base de dados faz parte

do projeto de doutorado da aluna Paula Brumer Franceschini Kagan¹ (KAGAN, 2021) e pode ser consultada no Anexo 1.

3.1.1 Análise estatística

A base de dados foi utilizada para a realização de uma análise estatística, de modo a permitir uma análise crítica quantitativa da amostra em questão. Para as variáveis contínuas, foram calculados os parâmetros estatísticos de máximos, mínimos, média, mediana, desvio padrão, 1º e 3º quartis e o intervalo de confiança de 95%. Para as variáveis categóricas, foi considerada a maior frequência de ocorrência de cada variável, sendo calculadas suas respectivas proporções, que foram utilizadas no cálculo do intervalo de confiança de 95%. As análises foram realizadas com auxílio do *software* Excel.

Além disso, a fim de avaliar a correlação entre algumas das variáveis estudadas, foram calculados os Coeficientes de Correlação de Pearson para as variáveis contínuas que aparentaram possuir alguma possível correlação. Este coeficiente mensura a associação entre duas variáveis, podendo variar de -1 a 1, sendo que, quanto mais próximo de -1 for a variável, mais forte é a associação linear negativa entre as variáveis (as variáveis estão inversamente relacionadas). O mesmo vale para o intervalo positivo, ou seja, quanto mais próximo de 1, mais forte é a associação linear positiva das variáveis (as variáveis estão diretamente relacionadas). Valores próximos de zero podem ser classificados sem correlação, logo, não existe associação entre as variáveis estudadas.

Por fim, a fim de comparar os parâmetros que possam trazer benefícios devido à certificação AQUA, foram calculados os parâmetros estatísticos de média e desvio padrão para as variáveis contínuas e a maior frequência e proporção para as variáveis categóricas, mas desta vez separando as escolas com e sem certificação.

3.2. Pesquisa de campo

A segunda etapa da pesquisa consistiu em uma pesquisa de campo, sendo critérios para seleção do recorte de estudo: a escolha de dois edifícios escolares para análise comparativa, sendo que um deles deveria ser certificado AQUA e outro não; que ambas as escolas fossem localizadas na cidade de Campinas, de modo a viabilizar a condução da pesquisa.

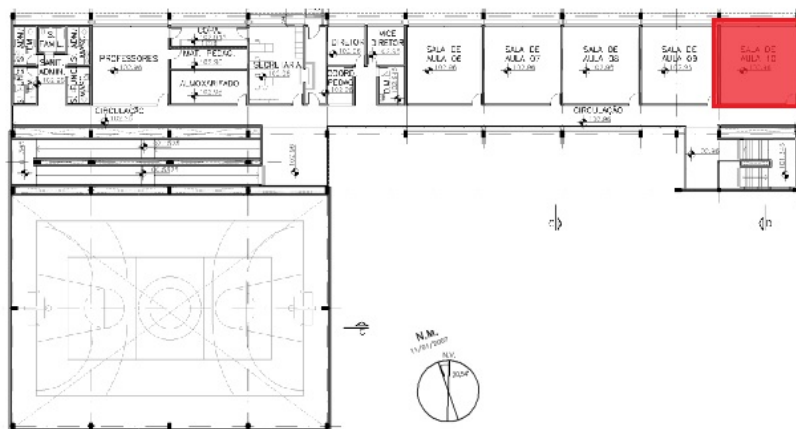
¹ Paula Brumer Franceschini Kagan, aluna de doutorado do PPG-ATC, orientada por Leticia de Oliveira Neves.

Da amostra incluída na base de dados, apenas cinco escolas estão localizadas em Campinas e somente uma delas possui certificação AQUA. Em vista disso, selecionou-se para realização da pesquisa de campo na escola E.E. Adriana Cardoso com certificação AQUA, aqui denominada como ‘escola 1’ (Figura 1 e 2).

Figura 1 - Fachada da escola 1 (com certificação AQUA). Fonte: Google Maps.



Figura 2 - Planta da escola 1 (com certificação AQUA). Fonte: FDE



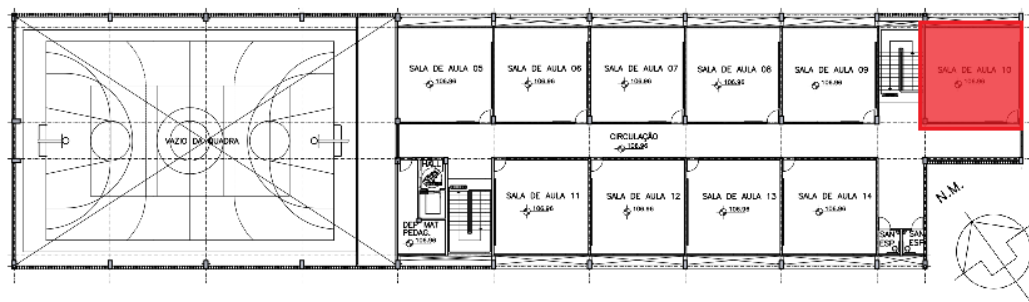
Com o intuito de que fossem analisadas duas salas de aula com semelhanças de projeto em termos de desempenho térmico e ventilação natural (orientação solar e estratégia de ventilação natural adotada), para a escolha da escola sem certificação AQUA foram observadas as plantas das quatro opções existentes em Campinas. Verificou-se, então, que

nenhuma das opções possuía orientação solar e estratégia de ventilação natural idênticas à escola 1, visto que todas as escolas sem certificação AQUA possuem duas fileiras de salas de aula com corredor central e a escola com certificação possui uma fileira de salas de aula com corredor com fachada livre. Elaborou-se, portanto, uma tabela comparativa contendo dados de projeto das quatro escolas sem certificação e da escola com certificação. Realizaram-se comparações entre os dados e, para cada variável, foi atribuída uma pontuação para a escola que possuía características iguais ou mais próximas aos dados da escola com certificação. A escola sem certificação AQUA com maior pontuação foi escolhida para condução da pesquisa de campo (E.E. Cláudia Francisco da Silva), sendo aqui denominada como ‘escola 2’ (Figuras 3 e 4).

Figura 3 - Fachada da escola 2 (com certificação AQUA). Fonte: Google Maps.



Figura 4 - Planta da escola 1 (com certificação AQUA). Fonte: FDE



3.2.1 Caracterização das escolas selecionadas para estudo de caso

Ambas as escolas selecionadas para a pesquisa de campo estão localizadas na cidade de Campinas/SP, nos dois extremos da cidade, sendo a escola 1 situada na região norte de Campinas e a escola 2 situada na região sul do município, conforme Figura 5.

Figura 5 - Localização das escolas em Campinas/SP. Fonte: Google Maps.



A escola 1 está situada na rua Luísa Augusta Garlipo e a escola 2 está localizada na rua Antônio Carlos Folegatti, conforme Figuras 6 e 7, respectivamente.

Figura 6 - Implantação escola 1. Fonte: Google Earth.



Figura 7 - Implantação escola 2. Fonte: Google Earth.



A escola 1 foi inaugurada em 2015, possui área construída de 3210 m², contendo três pavimentos e 10 salas de aula. A orientação solar de seu eixo longitudinal é Norte/ Sul e o bloco de salas de aula possui corredor com fachada livre. A sala de aula selecionada para a pesquisa de campo é a sala 10 (Figuras 2 e 8), que possui área de 51,84 m², janelas basculantes com esquadrias de aço, porta e esquadrias de madeira e paredes de alvenaria de blocos de concreto. A escola ministra aulas em período integral, das 7 h às 16 h, para alunos do ensino fundamental. Na sala estudada são ministradas aulas para o 5º ano, compreendendo 28 alunos de 9 a 11 anos.

Figura 8 - Sala de aula da escola 1. Fonte: próprio autor.



A escola 2 foi inaugurada em 2010, possui área construída de 3878 m², contendo três pavimentos e 14 salas de aula. A orientação solar de seu eixo longitudinal é Norte/ Sul e o bloco de salas de aula possui corredor central. A sala de aula selecionada para a pesquisa de campo é a sala 10 (Figuras 4 e 9), que possui área de 51,84 m², janelas basculantes com esquadrias de aço, porta e esquadrias de madeira e paredes de alvenaria de blocos de concreto. A escola ministra aulas nos períodos da manhã no horário das 7 h às 12:30 h, tarde no horário das 13 h às 18:30 h e noite no horário das 19 h às 23 h, englobando todos os anos de ensino fundamental e ensino médio. Na sala estudada, são ministradas aulas para o 8º ano no período da manhã, compreendendo 32 alunos de 12 a 14 anos e do 6º ano no período vespertino, compreendendo 24 alunos de 10 a 12 anos.

Figura 9 - Sala de aula da escola 5. Fonte: próprio autor.



3.2.2 Medições de variáveis ambientais

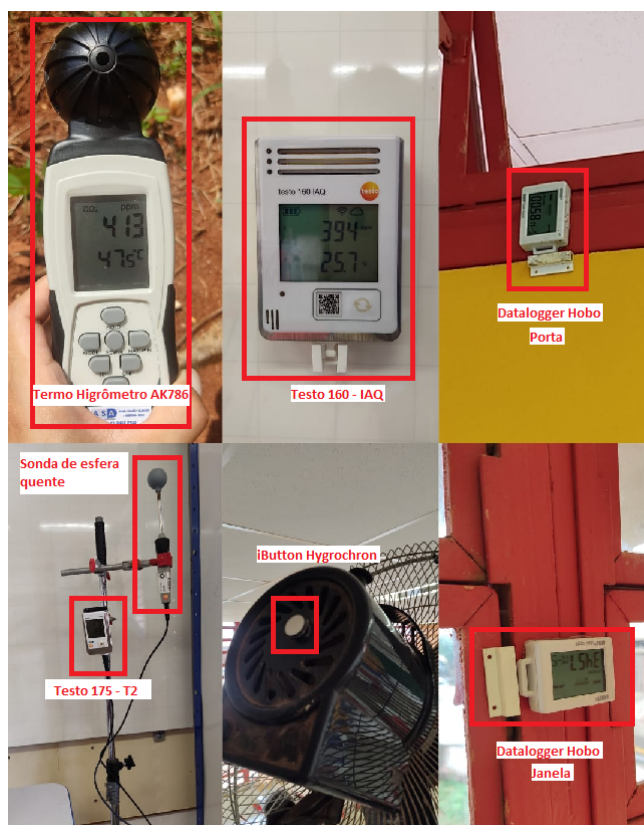
A pesquisa de campo consistiu em medições de variáveis ambientais internas, em uma sala de aula de cada escola, pelo período de uma semana. As medições foram realizadas simultaneamente nas duas salas de aula selecionadas, para que não houvesse interferências nos resultados finais referentes às condições climáticas externas, porém as diferenças microclimáticas não foram consideradas.

As variáveis ambientais medidas *in loco* durante o estudo de campo foram: temperatura do ar, temperatura de globo, umidade relativa do ar, concentração de CO_2 e acionamento manual de janelas, portas e ventiladores. A Tabela 1 e Figura 10 apresentam os equipamentos utilizados durante o monitoramento. Todos os equipamentos de medição foram configurados para obter o registro dos dados a cada 15 minutos, durante o período de sete dias corridos, entre os dias 15 e 21 de fevereiro de 2022. No caso da medição de concentração de CO_2 , tendo em vista a indisponibilidade de dois equipamentos com sistema de registro, somente a escola 1 (com certificação AQUA) apresentou dados coletados a cada 15 minutos. Na escola 2, utilizou-se um equipamento de leitura momentânea, realizando-se registros nos dias 16 e 18 de fevereiro de 2022, no período das 7 h às 16 h, horário em que houve ocupação de alunos nas salas de aula. As medições foram realizadas nos mesmos horários das medições programadas dos outros equipamentos. Com relação ao monitoramento de operação de portas e janelas, por falta de equipamento disponível, o *datalogger* foi instalado em somente uma janela para cada sala de aula.

Tabela 1 - Especificações técnicas dos equipamentos utilizados para o monitoramento.

Equipamento	Variável medida	Alcance	Precisão
Medidor de CO ₂ com Termo Higrômetro AK786	Temperatura do ar interior, umidade relativa do ar e concentração de CO ₂	-20°C a 70°C 0 a 100% 0 a 5000 ppm	±0,5°C ±2% ±(100 ppm + 3% do vm)
Datalogger de temperatura/temperatura da marca Testo, modelo 175-T2	Temperatura do ar interior	-35°C a 55°C	±0,5°C
Sonda de esfera quente da marca Testo, modelo 0635, 1549, 0635 1049 e 0613 1712	Temperatura de globo	-25 °C a 80°C	±0,2 °C
Datalogger Hobo de State/Pulse/Event/Runtime da marca ONSET	Monitoramento da operação das janelas e portas	Frequência máxima 1 Hz	±1 min
Datalogger de temperatura e umidade, iButton Hygrochron	Temperatura do ar interior para monitoramento da operação dos ventiladores	-20°C a 85°C 0 a 100%	±0,5°C ±0,6%
Datalogger wi-fi com display e sensores integrados de temperatura e umidade, CO ₂ e pressão atmosférica da marca Testo, modelo 160 IAQ	Temperatura do ar interior, umidade relativa do ar e concentração de CO ₂	0°C a 50°C 0 a 100% 0 a 5000 ppm	±0,5°C ±2% ±(100 ppm + 3% do vm)

Fonte: Adaptação (FRANCESCHINI, 2021)

Figura 10 - Equipamentos utilizados. Fonte: próprio autor.

A posição de instalação de cada equipamento pode ser vista nas Figuras 11 e 12, todos os equipamentos foram instalados em locais em que não houvesse interferências nas aulas, além disso, foram realizadas medições de CO₂ em três lugares externos ao redor das escolas em um dos dias, durante o período de medições, onde não houvesse interferência de cobertura e paredes. As posições em planta em que foram realizadas as medições podem ser observadas por meio dos pontos em vermelho.

Figura 11 - Posição dos equipamentos das salas de aula e medições externas da escola 1. Fonte: próprio autor.

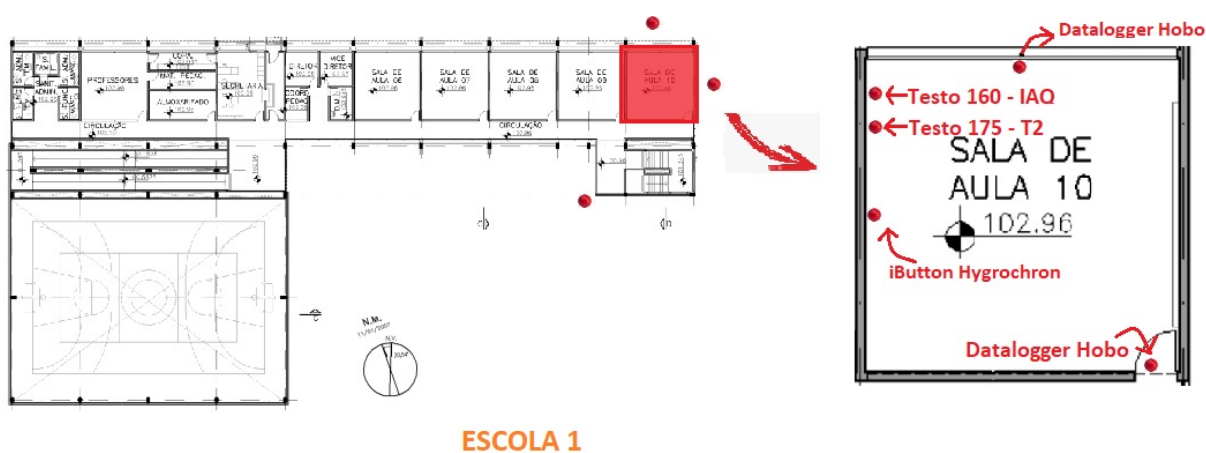


Figura 12 - Posição dos equipamentos das salas de aula e medições externas da escola 2. Fonte: próprio autor.



Como sugestão para estudos futuros, é importante destacar que seria interessante repetir o monitoramento das salas de aula em outro período do ano, de preferência no inverno em que a ventilação natural fica mais prejudicada, pois a temperatura externa é mais baixa e, consequentemente, as janelas ficam fechadas por mais tempo, se comparado com o verão.

Os dados monitorados foram utilizados como base para o cálculo das variáveis temperatura radiante média e temperatura operativa interna. Para o cálculo da temperatura

radiante média, utilizou-se a equação 1 (FERNANDES, L. C.; KRUGER, E. L., 2019). Os dados de temperatura de globo e do ar foram obtidos no monitoramento. Para diâmetro do globo, foi adotado o valor de 0,04 m e para emissividade do globo foi adotado o valor de 0,95.

$$T_{rm\ globo} = [(T_g + 273,15)^4 + \frac{0,25 * 10^8}{\varepsilon_g} * \frac{|T_g - T_a|^{1/4}}{D} * (T_g - T_a)]^{1/4} - 273,15$$

Eq. 1

Em que:

- $T_{rm\ globo}$ = temperatura radiante média (°C)
- T_g = temperatura de globo (°C)
- T_a = temperatura do ar (°C)
- D = diâmetro do globo (m)
- ε_g = emissividade do globo

Para o cálculo da temperatura operativa interna, foi considerado o método de cálculo da norma ASHRAE 55-2020, conforme a equação 2 (ASHRAE, 2020). Os dados de temperatura do ar foram obtidos do monitoramento e os dados de temperatura radiante média foram obtidos a partir da equação 1, acima.

$$T_{op} = A * t_a + (1 - A) * t_r$$

Eq.2

Sendo,

- T_{op} = temperatura operativa interna (°C)
- t_a = temperatura do ar (°C)
- t_r = temperatura radiante média (°C)
- A = coeficiente em função da velocidade do ar

Nos momentos em que os ventiladores se encontravam desligados foi considerado o coeficiente $A = 0,5$, para velocidade média do ar $<0,2$ m/s, quando os ventiladores se encontravam ligados, foi considerado o coeficiente $A = 0,7$ para velocidade média do ar de $0,6$ a $1,0$ m/s, conforme ASHRAE 55-2020.

3.3 Forma de análise de resultados

Os dados coletados foram analisados estatisticamente com o auxílio da ferramenta MS-Excel, a fim de que fosse possível encontrar as diferenças e correlações entre as duas

escolas monitoradas e comparar os resultados com as condições estabelecidas em normas e na literatura. Como resultado, pretende-se contribuir para a área de pesquisa sobre a qualidade do ar interior e conforto térmico de salas de aula.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados são apresentados e discutidos em duas partes: base de dados e pesquisa de campo. Na primeira parte, apresenta-se uma discussão dos projetos de arquitetura das edificações escolares construídas pela FDE, tendo como base o recorte temporal proposto no levantamento da base de dados. Além de uma análise quantitativa de parâmetros projetuais, realizada com base na análise estatística da amostra, realiza-se também uma análise com enfoque nas principais diferenças entre projetos com e sem certificação AQUA.

Na segunda parte, apresenta-se o processo de escolha da escola sem certificação, baseado nos parâmetros construtivos da base de dados. Apresenta-se também uma caracterização do clima de Campinas, tendo em vista que as escolas monitoradas estão situadas neste município. Por fim, realiza-se uma análise comparativa dos resultados obtidos do monitoramento das duas salas de aula estudadas e uma discussão sobre se de fato a certificação trouxe benefícios ao desempenho da edificação escolar, com enfoque em aspectos de conforto térmico e ventilação natural.

4.1 Base de dados

As Tabelas 2 e 3 apresentam os resultados da análise estatística das 66 escolas investigadas na base de dados (Anexo 1), contendo, para o caso de variáveis contínuas (Tabela 2), cálculos de mínimo, máximo, 1º e 3º quartil, média, mediana, desvio padrão e intervalo de confiança de 95%, e, para o caso de variáveis categóricas (Tabela 3), frequência de ocorrência, proporção e intervalo de confiança de 95%.

Tabela 2 - Análise estatística das variáveis contínuas das 66 escolas. Fonte: próprio autor.

Componente Construtivo	Variável	Mínimo	Máximo	1º Quartil	Mediana	Média	3º Quartil	Desv. Pad.	IC-95%
Informações gerais do edifício	Área construída (m²)	1759,0	5252,0	3036,8	3389,0	3422,0	3857,3	636,0	[3268,6 ; 3575,5]
	Ângulo de azimute (°)	0,0	150,0	35,3	75,0	69,3	94,5	45,7	[58,3 ; 80,3]
	Nº de andares	2,0	5,0	3,0	4,0	3,3	4,0	0,9	[3,1 ; 3,6]
	Proporção comprimento X largura	0,2	0,9	0,3	0,4	0,5	0,5	0,1	[0,4 ; 0,5]
	Nº de salas de aula	6,0	27,0	12,0	13,0	13,3	15,0	3,5	[12,5 ; 14,2]

Salas de aula	Altura do piso ao teto (m)	2,8	3,2	2,8	3,0	3,0	3,0	0,1	[2,9 ; 3,0]
	Altura do piso ao piso (m)	3,0	3,5	3,2	3,2	3,3	3,3	0,1	[3,2 ; 3,3]
Parede externa	Absortância solar	0,2	0,9	0,4	0,6	0,5	0,7	0,2	[0,5 ; 0,6]
	Fator U (W/m².K)	2,7	3,0	2,8	2,8	2,8	2,7	0,1	[2,8 ; 2,9]
	Capacidade térmica (kJ/m².K)	158,3	206,2	175,2	202,2	192,4	202,2	18,4	[187,9 ; 196,8]
Parede interna	Absortância solar	0,2	0,4	0,2	0,2	0,2	0,3	0,1	[0,21 ; 0,24]
	Fator U (W/m².K)	2,8	3,0	2,9	2,9	2,9	2,9	0,1	[2,88 ; 2,90]
	Capacidade térmica (kJ/m².K)	158,3	174,0	166,2	166,2	167,1	166,2	4,0	[166,2 ; 168,1]
Cobertura	Absortância solar	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,0	[0,24 ; 0,25]
	Fator U (W/m².K)	0,5	1,7	1,1	1,7	1,3	1,7	0,5	[1,2 ; 1,4]
	Capacidade térmica (kJ/m².K)	140,7	515,2	140,7	140,7	155,8	164,2	46,6	[144,6 ; 167,1]
Janela da sala de aula	Fator U de envidraçamento (W/m².K)	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	0,0	[5,7 ; 5,7]
	Vidro (Fator solar)	0,4	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,1	[0,8 ; 0,9]
Corredor	Peitoril da janela (m)	1,1	2,8	2,2	2,3	2,3	2,4	0,2	[2,3 ; 2,]
	Altura da esquadria da janela (m)	0,2	2,1	0,6	0,7	0,7	0,8	0,2	[0,6 ; 0,7]
	% da esquadria da janela operável	0,0	100,0	50,0	51,4	60,9	75,0	26,5	[54,6 ; 67,3]
	Fator de abertura da janela (m²)	0,3	2,3	0,4	0,5	0,6	0,8	0,3	[0,5 ; 0,7]
	PAF* (%)	6,7	69,9	16,7	22,3	21,4	26,1	8,5	[19,3 ; 23,4]
Fachada	Peitoril da janela (m)	0,8	4,1	0,9	0,9	1,0	1,0	0,4	[0,9 ; 1,1]
	Altura da esquadria da janela (m)	0,4	2,2	2,1	2,1	2,0	2,1	0,2	[2,0 ; 2,1]
	% da esquadria da janela operável	0,0	78,6	61,1	66,7	62,4	71,4	13,7	[59,0 ; 65,6]
	Fator de abertura da janela (m²)	0,2	2,6	1,9	2,3	2,1	2,6	0,5	[2,0 ; 2,3]
	PAF* (%)	8,0	73,3	66,7	68,5	66,7	70,0	8,6	[64,7 ; 68,8]
Dispositivos de sombreamento	Perfuração (%)	0,0	60,0	0,0	20,0	18,1	40,0	18,0	[13,8 ; 22,5]
	Distância entre esquadria e disp. symb. (m)	0,3	3,8	0,9	1,3	1,3	1,8	0,6	[1,2 ; 1,5]
	Ângulo vertical de sombreamento- AVS** (°)	0,0	75,0	0,0	0,0	13,9	30,0	20,7	[8,9 ; 18,9]
	Ângulo horizontal de sombreamento – AHS** (°)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	[0,0 ; 0,0]

(*PAF = Percentual de Área envidraçada na Fachada; ** Valor 0 significa que não há dispositivo de sombreamento)

Tabela 3 - Análise estatística das variáveis categóricas das 66 escolas. Fonte: próprio autor.

Variáveis	Maior Frequência	Proporção	IC-95%
Zonas Bioclimáticas	3	0,92	[0,70 ; 1,15]
Certificação AQUA-HQE	Não	0,70	[0,53 ; 0,87]
Ano de construção	2010 ou 2012	0,15	[0,11 ; 0,19]
Forma de planta baixa	Retangular	0,91	[0,69 ; 1,13]
Orientação Solar	N-S	0,35	[0,26 ; 0,43]
Estratégia de ventilação natural	Ventilação unilateral com corredor central	0,83	[0,63 ; 1,03]

Analisando a absorvência solar das paredes externas (Tabela 2) é possível notar que as cores das paredes variam entre cores médias claras e médias escuras, não sendo predominante o uso de cor clara, que seria a estratégia ideal para conforto térmico, considerando-se as características climáticas de grande parte do estado de São Paulo (clima subtropical úmido). Os vidros das janelas das salas de aula são predominantemente incolor e somente uma das escolas analisadas adota um vidro de controle solar. Também é possível notar que os materiais utilizados nas paredes internas e externas são padronizados pela FDE, já que suas propriedades térmicas praticamente não variam. Dentre as escolas estudadas, 53 edifícios possuem dispositivo de sombreamento na fachada das salas de aula, sendo comum o uso de brises horizontais (AVS) ou de telas perfuradas. Nenhuma escola possui brises verticais (AHS). Com relação à fachada das salas de aula, a média percentual de abertura encontra-se relativamente alta, atingindo 67%.

Analisando-se a orientação solar das escolas (Tabela 3), verifica-se que predomina a orientação do eixo longitudinal a N-S, que é considerada a mais adequada em termos de insolação, considerando-se as características climáticas e latitude do estado de São Paulo. Há também predominância de ventilação unilateral com corredor central, que não é considerada a solução mais adequada para as características climáticas do estado de São Paulo, o qual é preferível utilizar ventilação cruzada. Por fim, também é possível notar que há predominância no uso de elementos de proteção solar, em especial a tela perfurada, o que é considerado adequado às características de climas quentes (predominantes no estado de São Paulo), que exigem sombreamento para garantir boas condições de conforto térmico.

A Correlação de Pearson foi aplicada para as variáveis contínuas que aparentavam possuir alguma possível correlação, como pode ser visto na Tabela 4.

Tabela 4 - Correlação de Pearson entre variáveis contínuas. Fonte: próprio autor.

Componente Construtivo	Variáveis	Correlação de Pearson
Corredor	(Peitoril da janela X Altura da esquadria da janela operável)	-0,8
Fachada	(Peitoril da janela X Altura da esquadria da janela operável)	-0,9
Fachada	(PAF X Perfuração)	0,2
Fachada	(PAF X AVS)	-0,1

Ao analisar a Tabela 4, pôde-se observar uma correlação negativa entre as variáveis peitoril da janela e altura da esquadria, tanto do corredor quanto da fachada, ou seja, quanto menor o peitoril, maior a altura da esquadria, o que reflete diretamente em um aumento do percentual de área envidraçada na fachada. As correlações entre o percentual de abertura da fachada e a perfuração e o percentual de abertura da fachada e o ângulo vertical de sombreamento estão próximas de zero, ou seja, não existe associação entre essas variáveis. Seria esperado, no entanto, que um maior valor de PAF fosse associado à existência de algum tipo de elemento de sombreamento na fachada.

As Tabelas 5 e 6 apresentam a análise estatística comparativa de variáveis contínuas e categóricas, respectivamente, entre as escolas com e sem certificação.

Tabela 5 - Análise comparativa entre os parâmetros estatísticos de variáveis contínuas de escolas com e sem AQUA. Fonte: próprio autor.

Componente construtivo	Variáveis	Com AQUA		Sem AQUA	
		Média	Desv. Padrão	Média	Desv. Padrão
Informações gerais do edifício	Área construída (m²)	3449,4	517,4	3410,1	686,2
	Ângulo de azimute (°)	70,3	45,8	68,9	46,1
	Nº de andares	3,1	0,9	3,5	0,8
	Proporção comprimento X largura	0,5	0,2	0,4	0,2
	Nº de salas de aula	12,8	4,4	13,5	3,0
Salas de aula	Altura do piso ao teto (m)	2,8	0,1	3,0	0,1
	Altura do piso ao piso (m)	3,2	0,0	3,3	0,1
Parede externa	Absortância solar	0,5	0,2	0,5	0,2
	Fator U (W/m².K)	2,8	0,1	2,8	0,1
	Capacidade térmica (kJ/m².K)	189,2	20,5	193,8	17,5
Parede interna	Absortância solar	0,2	0,1	0,2	0,1
	Fator U (W/m².K)	2,9	0,1	2,9	0,0
	Capacidade térmica (kJ/m².K)	168,1	5,0	166,7	3,5
Cobertura	Absortância solar	0,3	0,0	0,2	0,0
	Fator U (W/m².K)	0,9	0,3	1,5	0,4
	Capacidade térmica (kJ/m².K)	182,9	78,5	144,1	8,0

Janela da sala de aula	Fator U de envidraçamento (W/m².K)	5,7	0,0	5,7	0,0
	Vidro - fator solar	0,8	0,1	0,9	0,0
Corredor	Peitoril da janela (m)	2,2	0,1	2,3	0,3
	Altura da esquadria da janela (m)	0,8	0,1	0,6	0,3
	% da esquadria da janela operável	64,4	26,8	59,5	26,5
	Fator de abertura da janela (m²)	190,9	0,3	185,9	0,3
	PAF (%)	24,2	4,5	20,2	9,5
Fachada	Peitoril da janela (m)	0,9	0,1	1,0	0,1
	Altura da esquadria da janela (m)	2,1	0,1	2,0	0,3
	% da esquadria da janela operável	60,0	17,1	63,4	12,0
	Fator de abertura da janela (m²)	2,1	0,7	2,2	0,3
	PAF (%)	70,5	2,3	65,1	9,7
Dispositivos de sombreamento	Perfuração (%)	23,7	15,3	14,8	18,9
	Sombreamento de distância - janela (m)	1,3	0,5	1,3	0,6
	Ângulo vertical de sombreamento (°)	14,3	22,8	13,7	19,7
	Ângulo horizontal de sombreamento (°)	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabela 6 - Análise comparativa entre os parâmetros estatísticos de variáveis categóricas de escolas com e sem AQUA. Fonte: próprio autor.

Variáveis	Com AQUA		Sem AQUA	
	Maior frequência	Proporção	Maior frequência	Proporção
Forma de planta baixa	Retangular	0,85	Retangular	0,93
Orientação Solar	N-S	0,40	N-S	0,33
Estratégia de ventilação natural	Ventilação cruzada com corredor central	0,70	Ventilação cruzada com corredor central	0,89
Tipo do dispositivo de sombreamento	Tela perfurada	0,50	Tela perfurada	0,33
Material do dispositivo de sombreamento	Aço	0,75	Concreto	0,37

Analisando a Tabela 5, é possível notar que as principais diferenças entre as escolas com e sem AQUA são:

- A média do percentual de perfuração dos dispositivos de sombreamento das escolas com AQUA é 8,9% maior do que as escolas sem certificação, o que favorece o conforto térmico dos ambientes internos.
- A porcentagem da esquadria da janela operável é 4,9% para as escolas com AQUA e o fator de abertura da janela no corredor das escolas com certificação AQUA são 2,6%

maiores do que as escolas sem certificação, refletindo em um melhor funcionamento da ventilação cruzada, por meio das janelas do corredor.

- As escolas com certificação AQUA possuem Fator U menor e capacidade térmica maior para a cobertura, o que pode ser considerado mais adequado, pois aumenta seu isolamento térmico, contribuindo para reduzir as variações de temperatura nos ambientes. Isso ocorre pois provavelmente há diferenças nos materiais utilizados nas coberturas, de modo que as coberturas das escolas com AQUA podem ter sido planejadas para a redução do consumo de energia, de forma com que fosse possível elevar a pontuação da certificação. Podemos notar, no entanto, que tanto as escolas com certificação quanto as escolas sem certificação estão dentro dos parâmetros base para obtenção da certificação, pois o Fator U das coberturas e paredes estão de acordo com o que é exigido pelo referencial teórico AQUA-HQE.

Analisando a Tabela 6, vemos que a diferença mais relevante para o desempenho térmico e ventilação natural das escolas está na diferença do material do dispositivo de sombreamento, sendo que o aço está presente em 75% dos dispositivos das escolas com AQUA e nas escolas sem AQUA geralmente usam-se dispositivos de concreto. Isso pode ter ocorrido em função de outros parâmetros exigidos pela certificação, não relacionados diretamente ao desempenho termoenergético da edificação.

4.2 Pesquisa de campo

A realização da pesquisa de campo partiu da premissa da escolha de dois edifícios escolares para análise comparativa, sendo que um deles deveria ser certificado AQUA e outro não. A viabilização da pesquisa de campo requeria sua realização na cidade de Campinas. A edificação escolar com AQUA foi facilmente selecionada, já que o município apresenta apenas uma escola FDE com certificação. Para a escolha do edifício escolar sem certificação, recorreu-se a uma análise comparativa do projeto arquitetônico das cinco escolas constantes na base de dados (Anexo 1). A Tabela 7 apresenta a análise comparativa entre as escolas sem certificação (aqui numeradas de 2 a 5) com a escola com certificação (aqui numerada como escola 1). O critério de pontuação foi concedido pela comparação de todos os parâmetros contidos na base de dados, não tendo diferenciação no peso dos pontos dados pela relevância de cada parâmetro, ou seja, para cada parâmetro foi considerado “um ponto”, portanto, esses pontos foram contabilizados conforme a variável analisada fosse exatamente igual ou o mais semelhante da variável da escola certificada. Conforme resultados apresentados na tabela, a

escola que mais pontuou e que se mostrou mais semelhante à escola com certificação, em termos de projeto arquitetônico, foi a escola 2, totalizando 23 pontos das 41 variáveis analisadas.

Tabela 7 - Escolha da escola sem AQUA. Fonte: próprio autor.

Parâmetros analisados		Escolas sem certificação				Escola com certificação
Componente Construtivo	Variável	5	4	3	2	1
Edifício	Área construída (m ²)	2983	3399	3992	3878	3210
	Ângulo de azimute (°)	120	10	45	80	90
	Nº de andares	4	3	2	3	3
	Proporção comprimento X largura	0,28	0,27	0,43	0,3	0,22
	Nº de salas de aula	12	12	15	14	10
Salas de aula	Altura do piso ao teto (m)	3	3,185	3	3	2,8
	Altura do piso ao piso (m)	3,3	3,45	3,2	3,2	3,23
Parede externa	Absortância solar	0,44	0,39	0,61	0,73	0,19
	Fator U (W/m ² .K)	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8
	Capacidade térmica (kJ/m ² .K)	202,2	202,2	202,2	202,2	202,2
Parede interna	Absortância solar	0,19	0,39	0,19	0,19	0,19
	Fator U (W/m ² .K)	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9
	Capacidade térmica (kJ/m ² .K)	166,2	166,2	166,2	166,2	166,2
Cobertura	Absortância solar	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
	Fator U (W/m ² .K)	1,7	0,6	1,7	1,7	1,1
	Capacidade térmica (kJ/m ² .K)	140,7	148,3	140,7	140,7	164,2
Janela da sala de aula	Fator U de envidraçamento (W/m ² .K)	6	6	6	6	6
	Vidro - fator solar	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Corredor	Peitoril da janela (m)	2,1	2,6	2,3	2,4	2,2
	Altura da esquadria da janela (m)	0,5	0,6	0,7	0,6	0,8
	% da esquadria da janela operável	100	100	50	100	100
	Fator de abertura da janela (m ²)	0,4	0,5	0,5	1,0	1,0
	PAF (%)	12	12	23	20	27
Fachada	Peitoril da janela (m)	1,1	1,1	0,9	0,9	0,8
	Altura da esquadria da janela (m)	1,5	2,1	2,1	2,1	2,2
	% da esquadria da janela operável	60	79	64	64	71
	Fator de abertura da janela (m ²)	1,5	2,3	2,3	2,3	2,6
	PAF (%)	49	65	69	69	73
Dispositivos de sombreamento	Perfuração (%)	Não	1,2	Não	Não	0
	Sombreamento de distância - janela (m)	Não	1,2	Não	Não	1,1
	Ângulo vertical de sombreamento (AVS)	Não	0	Não	Não	45
	Ângulo horizontal de sombreamento (AHS)	Não	0	Não	Não	0

Edifício	Forma de planta baixa	Retangular	Retangular	Retangular	Retangular	Retangular
	Orientação Solar	NE-SW	E-W	NW-SE	N-S	N-S
	Posição no prédio	Pisos superiores e inferiores	Pisos intermediários e superiores	Pisos superiores, intermediários e inferiores	Pisos superiores e inferiores	Pisos intermediários e superiores
	Estratégia de ventilação natural	Ventilação unilateral com corredor central	Ventilação unilateral com corredor central	Ventilação unilateral com corredor central	Ventilação unilateral com corredor central	Ventilação cruzada com corredor com fachada livre
	Tipo de dispositivo de sombreamento	Não	Tela perfurada	Não	Não	Dispositivo de sombreamento horizontal
	Material de dispositivo de sombreamento	Não	Aço	Não	Não	Concreto
TOTAL		15	22	19	23	

As duas escolas analisadas na pesquisa de campo possuem algumas características em comum, como: orientação solar N-S; três pavimentos; forma de planta baixa retangular; mesma altura do piso ao piso nas salas de aula; mesmo componente construtivo e acabamento para paredes externas e internas (mesmo valor de transmitância, capacidade térmica e absorvância solar); mesmo tipo de vidro (incolor comum); mesmo fator de abertura na janela do corredor.

Vale ressaltar duas importantes diferenças: a escola com certificação AQUA possui ventilação cruzada e proteção solar externa e a escola sem certificação possui ventilação unilateral e não possui proteção solar externa, pontos relevantes, que podem influenciar no comportamento térmico das salas de aula. Além disso, a escola com AQUA possui esquadrias maiores na fachada principal da sala de aula, com maior fator de abertura, o que deve contribuir para melhores condições de ventilação natural.

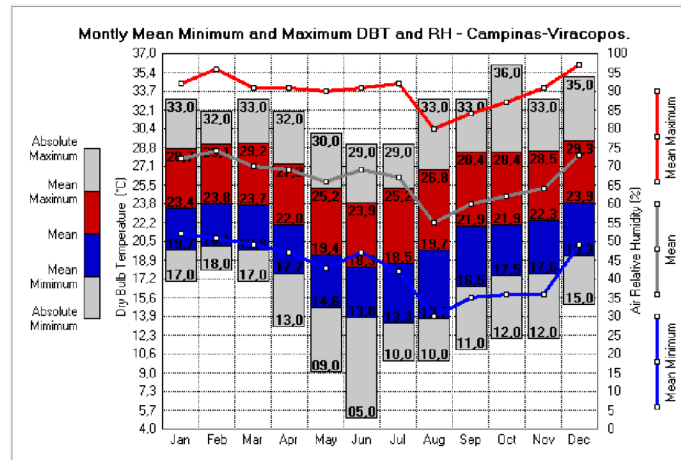
4.2.1 Caracterização do clima de Campinas

Para melhor embasamento das condições climáticas do local onde foi realizada a pesquisa de campo, apresenta-se aqui um breve resumo das características climáticas da cidade de Campinas, realizadas com o auxílio da ferramenta EPView e do arquivo climático de Campinas, com dados referentes ao período de 2007 a 2021 (LAWRIE, L. K; CRAWLEY, D. B, 2019). O clima de Campinas é caracterizado como tropical de altitude, que é típico de regiões mais elevadas do Sudeste do Brasil.

A figura 13 apresenta dados de temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ar para cada mês do ano.

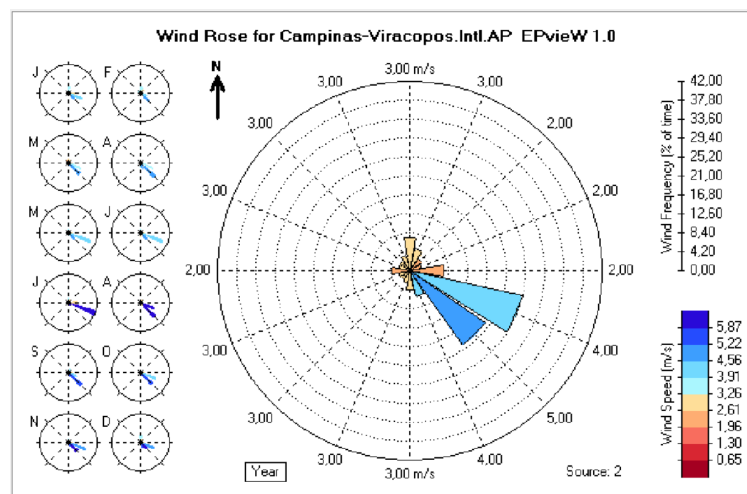
Figura 13 - Média mensal mínima e máxima temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ar de Campinas.

Fonte: EPView



A rosa dos ventos mostra a direção e velocidade dos ventos para todos os meses do ano (Figura 14). É possível verificar que os ventos com maior velocidade estão nas direções do Sudeste e entre o Sudeste e o Leste.

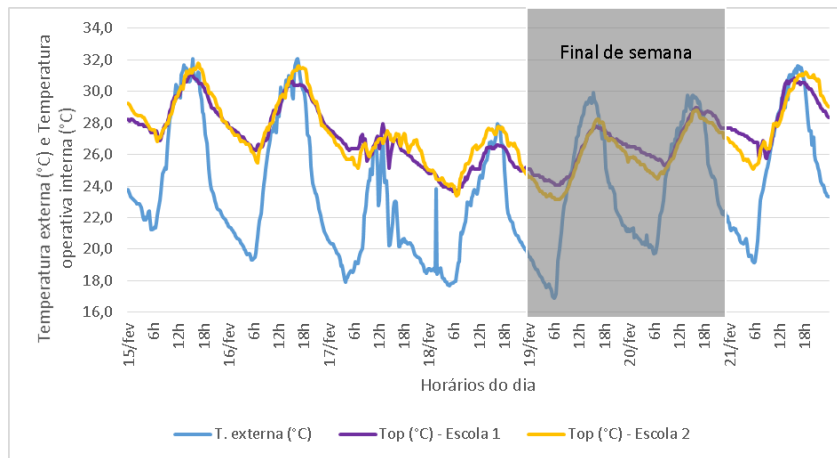
Figura 14 - Rosa dos ventos de Campinas. Fonte: EPView



4.2.2 Monitoramento de salas de aula

A pesquisa de campo consistiu na medição simultânea de variáveis ambientais internas em uma sala de aula pré-selecionada de cada escola investigada, pelo período de 15 a 21 de fevereiro de 2022. A Figura 15 apresenta, para as escolas 1 e 2, os dados da temperatura operativa interna (°C), umidade relativa do ar (°C) e temperatura externa (°C). A temperatura do ar externo foi disponibilizada pelo Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (CEPAGRI) da UNICAMP.

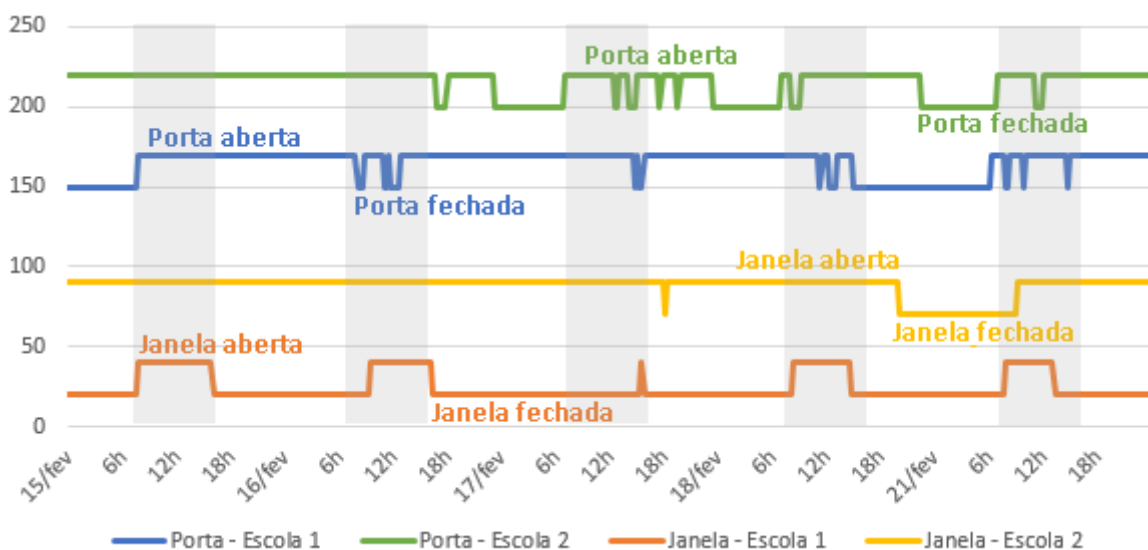
Figura 15 - Temperatura externa, temperatura operativa interna e umidade relativa das duas escolas. Fonte: próprio autor.



Comparando a temperatura operativa interna entre as duas escolas (Figura 15), podemos notar que a escola 2 apresenta maior amplitude térmica (variação entre máxima e mínima diária) que a escola 1, estando mais elevada durante o dia e mais baixa durante o período noturno, na maior parte do tempo. Inclusive, durante o dia a temperatura fica próxima à temperatura externa, o que não é adequado, principalmente considerando que a temperatura do ar externo ultrapassou 30 °C em alguns dias. Portanto, a escola certificada (escola 1) apresentou melhor resposta térmica, por manter a temperatura com menores variações e inferiores à temperatura externa.

O monitoramento das portas e janelas de ambas as salas de aula pode ser verificado na Figura 16, sendo o período ocupado representado em cinza.

Figura 16 - Operação das portas e janelas. Fonte: próprio autor.



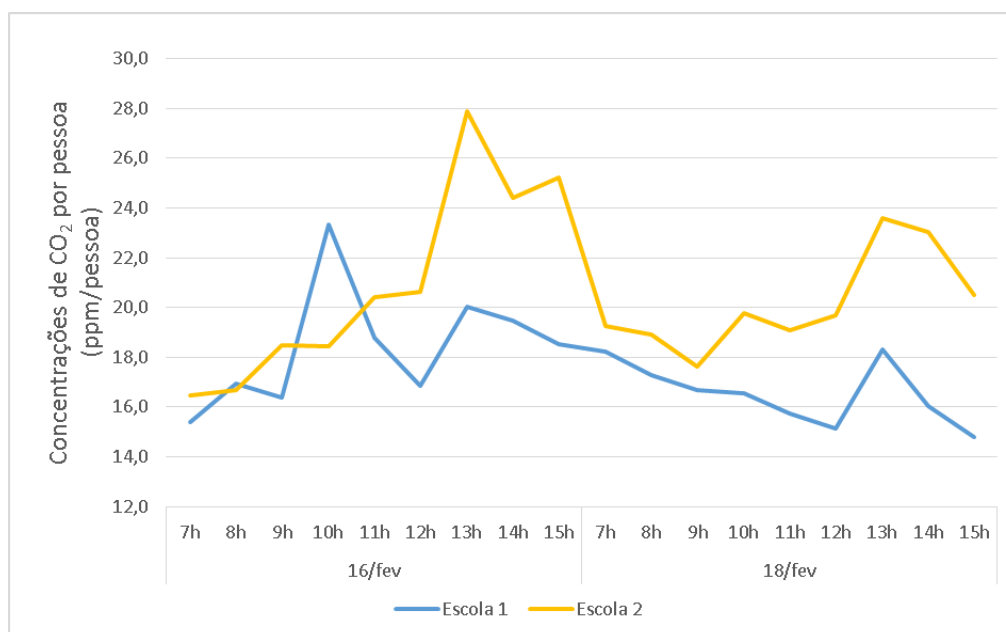
Analisando o gráfico, é possível notar que as janelas e portas de ambas as escolas permaneceram a maior parte do tempo abertas enquanto havia ocupação, de modo que foi possível contribuir para a ventilação natural, visto que com portas e janelas abertas, há maior circulação de ar no interior do ambiente, principalmente na escola certificada que possui ventilação cruzada e corredor com fachada livre.

A Tabela 8 e a Figura 17 apresentam uma comparação entre as concentrações de CO₂ das duas salas de aula nos dias em que foram realizadas as medições manuais de CO₂ na escola sem AQUA. Realizou-se uma média horária das concentrações de cada sala de aula, juntamente do número de ocupantes e, consequentemente, foi possível calcular as respectivas concentrações de CO₂ por pessoa.

Tabela 8 - Concentração de CO₂, nº de ocupantes das salas de aula e concentração de CO₂ por pessoa. Fonte: próprio autor.

Dia	Hora	Escola 1			Escola 2		
		Concentração de CO ₂ (ppm)	nº de ocupantes	Concentração de CO ₂ por pessoa (ppm/pessoa)	Concentração de CO ₂ (ppm)	nº de ocupantes	Concentração de CO ₂ por pessoa (ppm/pessoa)
16-fev.	7h	446,0	29	15,4	544,00	33	16,5
	8h	491,0	29	16,9	550,75	33	16,7
	9h	475,0	29	16,4	610,00	33	18,5
	10h	677,0	29	23,3	608,50	33	18,4
	11h	545,0	29	18,8	674,25	33	20,4
	12h	488,3	29	16,8	680,75	33	20,6
	13h	580,3	29	20,0	696,75	25	27,9
	14h	564,5	29	19,5	610,25	25	24,4
	15h	537,3	29	18,5	630,50	25	25,2
18-fev.	7h	528,3	29	18,2	635,25	33	19,3
	8h	501,0	29	17,3	623,75	33	18,9
	9h	483,8	29	16,7	581,75	33	17,6
	10h	479,8	29	16,5	652,00	33	19,8
	11h	456,5	29	15,7	629,75	33	19,1
	12h	439,0	29	15,1	649,50	33	19,7
	13h	531,0	29	18,3	590,25	25	23,6
	14h	464,5	29	16,0	575,50	25	23,0
	15h	428,8	29	14,8	513,00	25	20,5
Média	-	506,5	29	17,5	614,25	30	20,6

Figura 17 - Concentração de CO₂ das duas salas de aula. Fonte: próprio autor.



Observando os dados da Tabela 8 e Figura 17, é possível notar que na maior parte do tempo a concentração de CO₂ da escola com AQUA encontra-se mais baixa que a da escola não certificada, mesmo no período da tarde, em que há um número menor de ocupantes na escola sem AQUA. Estes resultados podem ser devido às seguintes circunstâncias: as características dos ocupantes das salas de aula, uma vez que a escola 2 possui ocupantes mais velhos que os da escola 1 e, conseqüentemente, geram maior concentração de CO₂. Além disso, também é válido considerar que a estratégia de ventilação natural utilizada em cada escola pode influenciar, uma vez que a estratégia de ventilação cruzada utilizada pela escola certificada é considerada a mais adequada, porém é válido ressaltar que mesmo havendo diferença nas concentrações de CO₂ nas duas escolas, ambas encontram-se dentro do intervalo aceitável. Ademais, também é importante analisar o PAF e a área de abertura operável das janelas de cada escola. O PAF da fachada da sala de aula da escola certificada é de 73% e a área de abertura operável é de 71%, resultando em uma área de abertura efetiva de 51%, já da escola 2 o PAF é de 69% e a área de abertura operável é de 64%, resultando em uma área de abertura efetiva de 44%, sendo assim, é possível concluir que a escola não certificada possui a taxa de ventilação reduzida, refletindo em maiores concentrações internas de CO₂.

A Tabela 9 apresenta os dados tratados estatisticamente para a temperatura do ar interior, temperatura radiante média, concentração de CO₂, umidade relativa do ar e temperatura operativa interna.

Tabela 9 - Dados estatísticos das variáveis climáticas da escola 1 e 2. Fonte: próprio autor.

Variável	Escola 1				Escola 2			
	Med. Máx	Med. Mín	Média	Desv. Pad.	Med. Máx	Med. Mín	Média	Desv. Pad.
Temperatura do ar interior (°C)	30,0	26,1	27,8	1,9	29,3	25,3	27,6	2,0
Temperatura radiante média interna (°C)	28,8	24,9	26,8	2,0	29,0	25,2	27,4	2,0
Temperatura operativa interna (°C)	29,0	25,2	27,3	1,9	29,2	25,7	27,5	2,0
Umidade relativa interna (%)	64,0	52,8	59,0	5,9	67,9	59,3	65,3	5,8
Concentração de CO ₂ interna (ppm)	623,8	441,9	498,7	79,7	702,1	551,8	615,7	73,9
Concentração de CO ₂ interna por pessoa (ppm/pessoa)	21,5	15,2	17,2	2,7	23,4	18,4	20,5	2,5

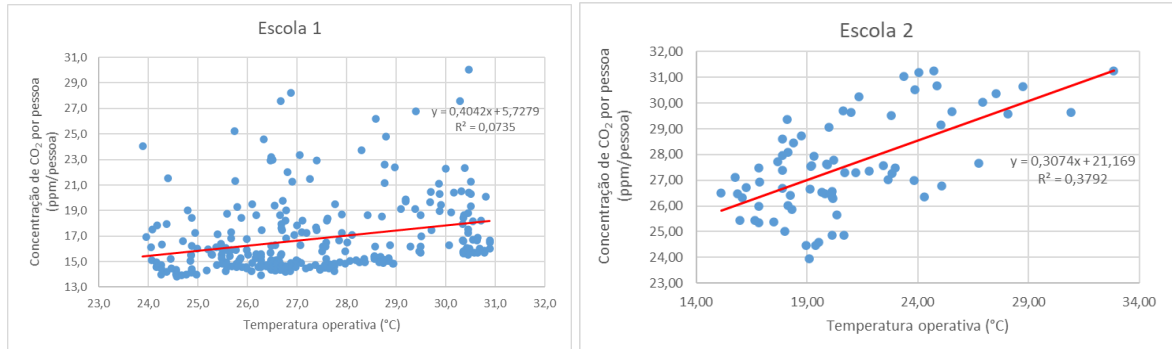
Observando os dados da Tabela 9, é possível notar que os valores da temperatura do ar interior da escola 1 estão mais elevados, se comparados à escola 2, porém para a temperatura radiante média e temperatura operativa interna os valores da escola 2 estão mais elevados, o que indica que há menos incidência de radiação direta na escola 1, o que pode se dar em função dos brises na fachada. Os valores de desvio padrão estão relativamente baixos, o que implica que esses valores possuem pouca flutuabilidade. Comparando a concentração de CO₂, como já visto anteriormente, é possível notar que os valores da escola 2 estão mais altos, porém também é possível notar que o desvio padrão está elevado para ambas as escolas, refletindo em condições internas com alta flutuabilidade. Os valores de umidade relativa do ar estão mais elevados para a escola 2, porém. Por fim, é válido ressaltar que para os dados de “Média máxima” e “Média mínima”, foram considerados os dados de todos os dias monitorados, podendo gerar divergências dos resultados da Tabela 9, com os dados resultados das Figuras 15 e 17.

A fim de encontrar diferenças significativas entre os resultados das duas escolas, sugere-se como estudo futuro a realização de um teste de hipótese para todas as variáveis estudadas.

A Figura 18 apresenta a relação entre a concentração de CO₂ e a temperatura operativa interna durante o período ocupado das escolas 1 e 2, respectivamente. O coeficiente de determinação (R^2) da escola 1 resultou em 7%, o que nos leva a concluir que não se pode estabelecer qualquer relação entre a temperatura operativa interna e a taxa de concentração de CO₂ interna para esta escola. Já para a escola 2 o coeficiente é de 38%, valor ainda considerado baixo para concluir algum tipo de relação entre as variáveis, porém analisando a

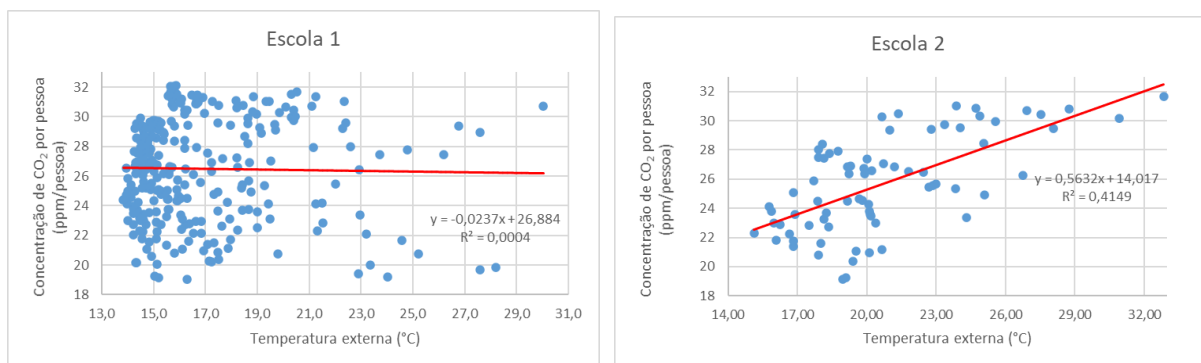
reta, dá para notar que, quanto maior a concentração de CO₂, maior a temperatura operativa interna.

Figura 18 - Concentração de CO₂ por pessoa x Temperatura operativa. Fonte: próprio autor.



A Figura 19 apresenta a taxa de concentração de CO₂ por pessoa, para as salas de aula das escolas 1 e 2, em função da temperatura do ar externo. O coeficiente de determinação (R^2) da escola 1 resultou em 0,04%, o que nos leva a concluir que não se pode estabelecer qualquer relação entre a temperatura do ar externo e a taxa de concentração de CO₂ interna para esta escola. Já para a escola 2 o coeficiente é de 41%, valor ainda considerado baixo para concluir algum tipo de relação entre as variáveis, porém analisando a reta, dá para notar que quanto maior a concentração de CO₂ por pessoa, maior a temperatura do ar externo.

Figura 19 - Gráfico de dispersão da concentração de CO₂ por pessoa x Temperatura externa. Fonte: próprio autor.



4.3 Análise comparativa entre salas de aula de escolas com e sem certificação AQUA

A Tabela 10 apresenta uma comparação entre as principais características das duas escolas, a fim de analisar os possíveis benefícios da certificação ambiental AQUA.

Tabela 10 - Tabela comparativa entre a escola 1 e 2. Fonte: próprio autor.

Características	Escola 1	Escola 2
Estratégia ventilação natural	Ventilação cruzada com corredor com fachada livre	Ventilação unilateral com corredor central
Média temperatura do ar interior (°C)	27,8	27,6
Média da temperatura radiante média interna (°C)	26,8	27,4
Média da temperatura operativa interna (°C)	27,3	27,5
Média da umidade relativa interna (%)	59,0	65,3
Média da concentração de CO ₂ interna (ppm)	498,7	615,7
Média da concentração de CO ₂ interna por pessoa (ppm/pessoa)	17,2	20,5
Dispositivo de sombreamento	Dispositivo de sombreamento horizontal de concreto	Não possui
Fator U cobertura (W/m ² K)	1,1	1,7
Capacidade térmica da cobertura (kJ/m ² K)	164,2	140,7
PAF fachada sala de aula (%)	73	69
% da esquadria da janela operável da fachada	71	64

Ao analisar a Tabela 10 é possível notar as semelhanças e diferenças entre os resultados obtidos nas duas escolas. Com relação ao projeto arquitetônico, a escola 1 possui dispositivo de sombreamento, o que é bastante relevante em questões de conforto térmico considerando o clima de Campinas, além do percentual de abertura na fachada da sala de aula ser cerca de 5,5% maior, contribuindo para melhores condições de conforto térmico. Além disso, possui materiais da cobertura com melhor eficiência em relação ao isolamento térmico, de modo a contribuir na redução do fluxo de calor pela cobertura. Com relação aos dados monitorados, a sala de aula da escola com certificação AQUA apresentou níveis mais baixos de concentração de CO₂ e umidade relativa do ar, menor variação de temperatura do ar interno e menores valores de temperatura radiante média, se comparado à escola 2.

5. CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi realizar uma análise crítica, comparando o projeto de envoltória de salas de aula de edifícios escolares construídos pela FDE do estado de São Paulo

em termos de qualidade do ar interior (QAI), desempenho térmico e ventilação natural, sendo escolhidos como estudos de caso um edifício com certificação AQUA e outro sem.

Com relação à base de dados analisada, foi possível concluir que existem alguns quesitos considerados como adequados e outros inadequados, em termos de conforto térmico e ventilação natural, considerando as características climáticas da maior parte do estado de São Paulo, que é considerado um clima subtropical úmido. Por exemplo, a orientação solar do eixo longitudinal N-S e a predominância do uso de elementos de proteção solar dos edifícios escolares foram considerados adequados. Já as cores das paredes escuras em tons médios e escuros e a estratégia de ventilação natural com ventilação unilateral e corredor central foram consideradas inadequadas. Ao analisar de forma isolada as escolas com e sem certificação AQUA, foi possível concluir que as escolas com AQUA possuem a média percentual de perfuração dos dispositivos de sombreamento 8,9% maior, a porcentagem da esquadria da janela operável e o fator de abertura da janela no corredor também maiores, além de possuírem a transmitância térmica da cobertura menor e a capacidade térmica maior, sendo todos esses fatores considerados como favoráveis em relação ao conforto térmico, ventilação natural e consumo energético do ambiente.

Com relação às análises específicas das duas salas de aula monitoradas, foi possível concluir que a escola certificada se destacou em relação à escola sem certificação, uma vez que a estratégia de ventilação natural utilizada é de ventilação cruzada, além de possuir proteção solar externa, favorecendo o comportamento térmico e ventilação da sala de aula, ao contrário da escola sem AQUA, que possui ventilação unilateral e não possui proteção solar externa.

Comparando as conclusões obtidas da base de dados estudada e da pesquisa de campo, é possível notar que, apesar de a base de dados mostrar poucas diferenças de projeto arquitetônico entre escolas com e sem AQUA, as diferenças entre as escolas escolhidas na pesquisa de campo mostraram os benefícios da escola certificada, em termos de desempenho térmico e ventilação natural.

Vale ressaltar, contudo, que este estudo se mostra limitado, pois considerou o monitoramento de somente duas escolas, e que o mesmo foi realizado por um curto período de tempo, não sendo possível, portanto, fazer generalizações quanto aos benefícios da certificação AQUA. Ademais, é válido destacar que seria interessante a realização do monitoramento das salas de aula em outro período do ano, de preferência no inverno em que a

ventilação natural fica mais prejudicada por conta das janelas ficarem fechadas por mais tempo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A FDE. FUNDAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO, 2021. Disponível em: <<http://www.fde.sp.gov.br/PagePublic/Interna.aspx?codigoMenu=9>>. Acesso em: 30 nov. 2021.

ANSI/ASHRAE. **ASHRAE Guideline 55-2020 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. [S. l.: s. n.], 2020.

ANVISA. Resolução - RE no 9: **Qualidade do ar interior em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo**, 2003.

AQUA, Referencial de Avaliação da Qualidade Ambiental de Edifícios Não Residenciais em Construção - AQUA-HQE. **Fundação Vanzolini**, 2021. Disponível em: https://vanzolini.org.br/wp-content/uploads/2022/01/RT_AQUA-HQE-Edificios_ao-residenciais-2021.pdf. Acesso em: 28 maio 2022.

BARBOSA, L. T. **Análise de desempenho térmico no edifício escolar COLUNI em Viçosa-MG**. 2019. 39 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Sustentabilidade do Ambiente Construído, Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

BERNARDI, N.; KOWALTOWSKI, D. C. C. K.. Environmental Comfort in School Buildings: a case study of awareness and participation of users. **Environment And Behavior**, [S.L.], v. 38, n. 2, p. 155-172, mar. 2006. SAGE Publications. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1177/0013916505275307>. Acesso em: 19 out. 2021.

BERNARDI, T. H. (ed.); **Você sabe o que é certificação AQUA-HQE? Thórus Engenharia**, 2019. Disponível em:

<<https://thorusengenharia.com.br/certificacao-aqua-hqe-construcao-sustentavel/>>. Acesso em: 20 jun. 2022.

COLE, Raymond J.; VALDEBENITO, Maria Jose. The importation of building environmental certification systems: International usages of BREEAM and LEED. **Building Research and Information**, [s. l.], v. 41, n. 6, p. 662–676, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/09613218.2013.802115>

DECKER, P. H. B. *et al.* Uso da ventilação natural como estratégia para redução de riscos na transmissão da Covid-19 em salas de aula: relatos de estudos em escolas municipais de Londrina-PR. **Extensão em Foco**, Palotina, v. 20, n., p. 166-185, 18 jun. 2021. Universidade Federal do Paraná. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5380/ef.v0i20>. Acesso em: 27 mar. 2022.

DECO. Qualidade do ar nas escolas. **Pro Teste Saúde**, 2014. n.o 111, 10-14.

DENG, Shihan; ZOU, Bin; LAU, Josephine. The adverse associations of classrooms' indoor air quality and thermal comfort conditions on students' illness related absenteeism between heating and non-heating seasons—a pilot study. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, [s. l.], v. 18, n. 4, p. 1–10, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijerph18041500>. Acesso em: 22 jun. 2022.

DIETZ, Leslie et al. 2019 Novel Coronavirus (COVID-19) Pandemic: Built Environment Considerations To Reduce Transmission. **Applied and Environmental Science**, [s. l.], n. April, p. 1–13, 2020.

EFTEKHARL, M. M., MARJANOVIC, L. D., PINNOCK, D. J. Air flow distribution in and around a single-sided naturally ventilated room. **Building and Environment**, London, v. 38, p. 389-397, 2001.

FAKHOURY, N. A. **Estudo da qualidade do ar interior em ambientes educacionais**. 2017. 198 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica de Energia e Fluidos, Escola

Politécnica (USP), São Paulo, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/D.3.2017.tde-11072017-135147>. Acesso em: 20 jun. 2022.

FERNANDES, L. C.; KRUGER, E. L. Temperatura Radiante média obtida via termômetro de globo: análise crítica de dados de um estudo de campo. **Revista de Arquitetura IMED**, v. 8, n. 1, 2019.

FRANCESCHINI, P.B.; LIGUORI, I. N.; NEVES, L. O. **Avaliação da qualidade do ar interior durante a pandemia de COVID-19 em salas de aula naturalmente ventiladas**. Palmas: XVI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e XII Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído, 2021. 10 p.

FUNDAÇÃO VANZOLINI; CERTIVÉA. **Referencial de avaliação da qualidade ambiental de edifícios não residenciais em construção**. [S. l.: s. n.], 2021.

HORVAT, Miljana; FAZIO, Paul. Comparative Review of Existing Certification Programs and Performance Assessment Tools for Residential Buildings. **Architectural Science Review**, [s. l.], v. 48, n. 1, p. 69–80, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.3763/asre.2005.4810>

HOU, D.; KATAL, A.; WANG, L. Bayesian Calibration of Using CO2 Sensors to Assess Ventilation Conditions and Associated COVID-19 Airborne Aerosol Transmission Risk in Schools. **medRxiv**, [s. l.], p. 2021.01.29.21250791, 2021. Disponível em: <http://medrxiv.org/content/early/2021/02/03/2021.01.29.21250791.abstract>. Acesso em: 20 jun. 2022.

INMETRO. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e públicas (RTQ-C)** [S. l.: s. n.], 2010. p. 96.

KAGAN, P. B. F. **Assessing the impact of occupant behaviour on the thermal performance and on the indoor air quality of AQUA-certified school buildings**. 2021. 91 f. Qualifying Exam Documentation., School of Civil Engineering, Architecture And Urban Design, University Of Campinas, Campinas, 2021.

KAPOOR, Nishant Raj *et al.* A Systematic Review on Indoor Environmental Quality in Naturally Ventilated School Classrooms: a way forward. **Advances In Civil Engineering**, [S.L.], v. 2021, n., p. 1-19, 18 fev. 2021. Hindawi Limited. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1155/2021/8851685>. Acesso em: 13 ago. 2021.

KOWALTOWSKI, D.C.C.K. *et al.*, Fortaleza. Melhoria do conforto ambiental em edificações escolares municipais de Campinas-SP. **V Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e II Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído**. Fortaleza: Fortaleza 99, 1999. 9 p.

KOWALTOWSKI, D. C. C. K. *et al.* **Melhorias do Conforto Ambiental em Edificações Escolares Municipais de Campinas**, SP. Relatório de pesquisa da Escola de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas. Unicamp, Brasil: Universidade Estadual de Campinas, 2001.

KOWALTOWSKI, D. C. C. K. *et al.* **Climate Responsiveness and Facade Design of AQUA-Certified School Buildings**. [S.L.]: Poster Session, 2017. 7 p.

LAWRIE, L. K; CRAWLEY, D. B. **Climate One Building**. Development of Global Typical Meteorological Years (TMYx), 2019. Disponível em: https://climate.onebuilding.org/WMO_Region_3_South_America/BRA_Brazil/index.html. Acesso em: 15 maio 2022. Base de dados.

NISHIURA, H. *et al.* **Closed environments facilitate secondary transmission of coronavirus disease 2019 (COVID-19)**, 2020. MedRxiv. Disponível em: <https://doi.org/10.1101/2020.02.28.20029272>. Acesso em: 19 jul. 2022.

OLESEN, B. **Indoor environment in schools**. Apresentação oral, 4o Seminário de Qualidade do Ar Interno (QAI), Recife-PE, 2015.

PAIXÃO, D. X. **Análise das Condições Acústicas em Sala de Aula**, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, 1997.

PARK, S. *et al.* Natural ventilation strategy and related issues to prevent coronavirus disease 2019 (COVID-19) airborne transmission in a school building. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 789, n., p. 1-9, maio 2021. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147764>. Acesso em: 17 nov. 2021.n

PULIMENO, M. *et al.* Indoor air quality at school and students' performance: Recommendations of the UNESCO Chair on Health Education and Sustainable Development & the Italian Society of Environmental Medicine (SIMA). **Health Promotion Perspectives**, [s. l.], v. 10, n. 3, p. 169–174, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.34172/hpp.2020.29>. Acesso em: 17 jun. 2022.

QUADROS, M. E. **Qualidade do ar interno em ambientes hospitalares: Parâmetros Físicoquímicos e Microbiológicos**. Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.

RACKES, A. *et al.* **Avaliação do potencial de conforto térmico em escolas naturalmente ventiladas**. Florianópolis: XIII Encontro Nacional e IX Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído, 2015. 10 p.

SILVA, M., *et al.* Using Eco-sensors to Support Children's Participation in Environmental Health. **Ciência Viva**, 2019.

SIMÕES, G. N. **Análise de desempenho de um sistema de ventilação natural de uma creche**. 2016. 57 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente, Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2016.

SOHRABI, C. *et al.* World Health Organization declares global emergency: A review of the 2019 novel coronavirus (COVID-19). **International Journal of Surgery**. n 76 , 2020. P 71-76. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32112977/>. Acesso em: 20 jun. 2022.

UBA, UMWELTBUNDESAMT. **Richtig Lüften in Schulen**. Disponível em: <<https://www.umweltbundesamt.de/richtig-lueften-in-schulen#konnen-mobile-luftreiniger-in-klassenraumen-helfen>> Acesso em: 22 jun. 2021.

VANZOLINI, FUNDAÇÃO. AQUA-HQE. **Portal Vanzolini**, 2020. Disponível em: <<https://vanzolini.org.br/produto/aqua-hqe/>>. Acesso em: 29 nov. 2021.

ANEXOS

Anexo 1 - Base de Dados das escolas FDE. Fonte: (KAGAN, 2021)

BUILDING GENERAL INFORMATION														CLASSROOM				EXTERNAL WALL			INTERNAL WALL			ROOF			CLASSROOM WINDOW												SHADING DEVICES					
n°	FDE Number	School name	Bioclimatic Zone (CAT)	AQUA-HO E Certificate (CAT)	Construction Year (CAT)	Built area [m²] (CONST)	Azimuth angle of long axis of building [°] (CONST)	Number of floors (CONST)	Ground plus shape (CAT)	Length-to-width ratio (CONST)	Number of classrooms (CONST)	Solar orientation (CAT)	Position in the building (CAT)	Floor-to-ceiling height [m] (CONST)	Floor-to-floor height [m] (CONST)	Solar absorptance (CONST)	U-factor [W/m².K] (CONST)	Thermal capacity [kJ/m².K] (CONST)	Solar absorptance (CONST)	U-factor [W/m².K] (CONST)	Thermal capacity [kJ/m².K] (CONST)	Solar absorptance (CONST)	U-factor [W/m².K] (CONST)	Thermal capacity [kJ/m².K] (CONST)	Glazing U-factor [W/m².K] (CONST)	Glazing SHGC (CONST)	Natural Ventilation Strategy (CAT)	CORRIDOR					FACADE					Type (CAT)	Material (CAT)	Perforation [%] (CONST)	Distance shading window [m] (CONST)	VSA [°] (CONST)	HSA [°] (CONST)	
																												Window sill [m] (CONST)	Window frame height [m] (CONST)	% of operable window frame (CONST)	Window opening factor [m²] (CONST)	WWR [%] (CONST)	Window sill height [m] (CONST)	Window frame height [m] (CONST)	% of operable window frame (CONST)	Window opening factor [m²] (CONST)	WWR [%] (CONST)							
1	48103	EE Prudente de Moraes (Bairro da Luz)	3	Yes	2014	4945	12	4	Rectangular	0,30	27	E-W	Middle and top floors	3	3,23	0,65	2,8	202,2	0,33	2,9	166,2	0,25	1,7	140,7	5,7	0,87	CV with central corridor	2,2	0,75	30	0,38	25	0,9	2,1	54	1,92	70	Perforated screen	Aluminum	55	2,45	0	0	
2	106165	EE Cidade Ariston Estada Brezêdo VI	3	Yes	2018	3744	32	5	Rectangular	0,50	13	SE-NW	Middle floor	2,8	3,23	0,46	2,8	202,2	0,33	2,9	166,2	0,25	0,5	171,8	5,7	0,87	CV with central corridor	2,3	0,7	100	1,02	23	0,9	2,1	64	2,30	70	Horizontal shading device	Steel	22	1	5	0	
3	118163	EE Jardim Santa Rita II	3	Yes	2014	3150	90	3	Rectangular	0,54	8	N-S	Middle and top floors	2,8	3,23	0,46	2,8	202,2	0,19	2,9	166,2	0,25	1,1	164,2	5,7	0,87	CV with central corridor	2,15	0,85	30	0,38	28	0,9	2,1	54	1,92	70	Horizontal shading device	Steel	25	0,79	5	0	
4	505083	EE Jardim Marina	3	Yes	2015	3633	96	2	U-shape	0,71	18	N-S	Top floor	3	3,23	0,61	2,9	166,2	0,19	2,8	174	0,25	0,5	171,8	5,7	0,43	SSV						0,8	2,2	16	0,16	73	Perforated screen	Steel	40	1,25	0	0	
5	505077	EE Professor Castano Coeatti (Jardim Ouro Preto)	3	Yes	2016	3870	135	3	Rectangular	0,62	12	SW-NE	Top floor	2,8	3,23	0,39	2,8	202,2	0,19	2,9	166,2	0,25	1,1	164,2	5,7	0,87	CV with free facades	2,3	0,7	75	0,77	23	0,9	2,1	54	1,92	70	Perforated screen	Steel	31	1,25	0	0	
6	3134	EE Ilha da Juventude (Vila Brasília)	3	Yes	2012	2742	90	4	Rectangular	0,54	12	N-S	Middle floor	3	3,23	0,27	2,8	202,2	0,27	2,9	166,2	0,25	0,6	515,2	5,7	0,87	CV with central corridor	2,2	0,8	51	0,58	23	0,9	2,1	71	2,56	70	Perforated screen	Steel	40	1,35	0	0	
7	65168	EE Deputado Augusto do Amaral (Vila Nova Jaguaré)	3	Yes	No	3490	7	4	Rectangular	0,39	13	E-W	Bottom and middle floors	2,85	3,23	0,49	3	158,3	0,19	3	158,3	0,25	0,5	171,8	5,7	0,87	CV with central corridor	2,2	0,8	30	0,38	27	0,9	2,1	54	1,92	70	Perforated screen	Steel	40	1,61	0	0	
8	320383	EE Jardim Tangaris	3	Yes	2017	4058	25	2	O-shape	0,88	12	SE-NW	Top floor	2,8	3,23	0,9	2,7	206,2	0,19	2,8	174	0,25	1,1	164,2	5,7	0,87	CV with free facades	2,2	0,8	91	0,90	27	0,88	2,12	50	1,54	71	Horizontal shading device	Steel	20	0,9	5	0	
9	220487	EE Ana Maria Popovicz (Parque Reid)	3	Yes	No	3923	84	3	Rectangular	0,63	12	N-S	Middle and top floors	2,8	3,23	0,79	3	162,2	0,19	2,9	166,2	0,25	1,1	164,2	5,7	0,87	CV with central corridor	2,2	0,8	67	1,02	27	0,9	2,1	54	1,92	70	Horizontal shading device	Concrete	0	1,35	45	0	
10	200124	EE Prof. Pedro Antonio Ferraz de Andrade (Jd sumany)	3	Yes	2015	2645	135	2	Rectangular	0,33	8	SW-NE	Top floor	2,8	3,23	0,35	2,8	202,2	0,33	2,9	166,2	0,25	1,1	164,2	5,7	0,87	CV with central corridor	2,3	0,7	50	0,512	23	0,9	2,1	71	2,56	70	Perforated screen	Steel	20	1,78	0	0	
11	200311	EE Prof. Carlos Umberto Carrara (Rancharia)	6	Yes	2015	3178	135	2	U-shape	0,63	8	SW-NE	Top floor	2,8	3,23	0,27	3	162,2	0,27	2,9	166,2	0,25	1,1	164,2	5,7	0,87	CV with free facades	2,1	0,9	100	1,02	30	0,8	2,2	71	2,56	73	Horizontal shading device	Concrete	0	0,9	75	0	
12	094136	EE Cidade Anacy IV	4	Yes	2017	1797	45	2	Rectangular	0,43	12	SE-NW	Top floor	2,85	3,23	0,68	2,7	206,2	0,33	2,8	174	0,25	1,1	164,2	5,7	0,87	CV with central corridor	2,2	0,8	100	1,02	27	0,9	2,1	71	2,56	70	Horizontal shading device	Steel	20	1,8	45	0	
13	57162	EE Padre Tiago Alberoni (Cidade II)	3	Yes	No	3085	5	3	Rectangular	0,43	17	E-W	Middle floor	2,8	3,23	0,71	2,7	206,2	0,19	2,8	174	0,25	0,5	171,8	5,7	0,87	CV with central corridor	2,2	0,8	60	0,77	27	0,82	2,18	71	2,56	73	Perforated screen	Steel	20	1,55	0	0	
14	200615	EE Professora Maria de Lourdes Lima (Jd Bela Vista)	3	Yes	2017	3156	75	2	Rectangular	0,33	9	N-S	Bottom and top floors	2,8	3,23	0,35	2,7	206,2	0,33	2,8	174	0,25	1,1	164,2	5,7	0,87	CV with central corridor	2,3	0,7	50	0,51	23	0,95	2,05	71	2,56	68	Perforated screen	Steel	20	1,78	0	0	
15	61074	EE Professor Arnaldo Laurindo (Jardim São Luis)	3	Yes	No	3110	75	4	Rectangular	0,30	14	N-S	Middle and top floors	2,75	3,23	0,79	2,9	166,2	0,19	2,8	174	0,25	1,1	164,2	5,7	0,87	CV with free facades	2,2	0,8	60	0,77	27	0,8	2,2	71	2,56	73	Vertical shading device	Steel	20	0,9	0	0	
16	16141	EE Jornalista Francisco Mesquita (Parque Cisner III)	3	Yes	No	3210	45	4	Rectangular	0,40	10	SE-NW	Bottom and middle floors	2,85	3,23	0,46	2,7	206,2	0,27	2,8	174	0,25	0,5	171,8	5,7	0,87	CV with central corridor	2,2	0,8	30	0,38	27	1	2	71	2,56	67	Perforated screen	Steel	20	1,8	0	0	
17	200493	EE Maria Aparecida Felix Porto (Parque das Nações)	3	Yes	No	3479	135	3	Rectangular	0,38	15	SW-NE	Middle and top floors	2,8	3,23	0,65	3	162,2	0,19	2,9	166,2	0,25	1,1	164,2	5,7	0,87	CV with central corridor	2,5	0,5	100	0,26	17	1,05	1,95	71	2,56	65	Perforated screen	Steel	40	0,6	0	0	
																												2,35	0,65	50	0,26	11						Horizontal shading device	Concrete	0	0,6	45	0	
18	505081	EE Prof. Adriana Cardoso (Vila Esperança)	3	Yes	2015	3201	90	3	Rectangular	0,22	10	N-S	Middle and top floors	2,8	3,23	0,19	2,8	202,2	0,19	2,9	166,2	0,25	1,1	164,2	5,7	0,87	CV with free facades	2,2	0,8	100	1,02	27	0,8	2,2	71	2,56	73	Horizontal shading device	Concrete	0	1,1	45	0	
19	505080	EE Bernardo Carr (Vila Olímpia)	3	Yes	2015	3379	5	2	Rectangular	0,34	11	E-W	Top floor	2,85	3,23	0,39	2,8	202,2	0,19	2,9	166,2	0,25	1,1	164,2	5,7	0,87	CV with central corridor	2,4	0,6	50	0,512	20	0,9	2,1	71	2,56	70	Horizontal shading device	Steel	25	1,2	30	0	
20	505079	EE Vila Vitória (Vila Nova)	3	Yes	2019	3192	90	4	Rectangular	0,47	15	N-S	Bottom and middle floors	2,75	3,23	0,65	3	158,3	0,19	3	158,3	0,25	0,5	171,8	5,7	0,43	CV with central corridor							0,8	2,2	16	0,16	73	Perforated screen	Steel	40	1,8	0	0

21	1134	EE Vila Gaússi	3	No	2009	3610	100	4	Rectangular	0,50	15	N-S	Middle floor	3	3,23	0,64	2,8	202,2	0,19	2,9	166,2	0,19	1,7	140,7	5,7	0,87	CV with central corridor	2,4	0,6	50	0,51	20	1,2	1,8	67	2,05	59	No	No	No	No	No	No
22	1135	EE Jd Canabre	3	No	2012	1759	75	2	Rectangular	0,51	11	N-S	Bottom and top floors	3	3,23	0,44	2,8	202,2	0,19	2,9	166,2	0,25	1,7	140,7	5,7	0,87	CV with central corridor	2,3	0,7	60	0,77	23	0,9	2,1	71	2,56	70	No	No	No	No	No	No
23	6114	EE Jd Morro Doce	3	No	2011	4224	90	4	Rectangular	0,22	18	N-S	Bottom and middle floors	3,05	3,28	0,19	2,8	202,2	0,19	2,9	166,2	0,19	1,7	140,7	5,7	0,87	CV with central corridor	1,8	0,45	100	0,38	12	0,9	2,15	71	2,56	69	No	No	No	No	No	No
24	7116	EE Nossa Senhora Aparecida II	3	No	2013	3333	90	3	Rectangular	0,39	13	N-S	Bottom and middle floors	3,185	3,45	0,61	2,8	202,2	0,19	2,9	166,2	0,25	1,7	140,7	5,7	0,87	CV with central corridor	2,135	0,45	100	0,51	14	1,1	2,085	71	2,56	64	Horizontal shading device	Fiberghas	0	0,3	30	0
25	16026	EE CHB Lajeado B	3	No	2010	3096	45	3	Rectangular	0,39	16	NW-SE	Middle and top floors	3,185	3,45	0,65	2,8	202,2	0,19	2,9	166,2	0,25	1,7	140,7	5,7	0,87	CV with central corridor	2,135	0,45	100	0,51	14	1,1	2,085	71	2,56	64	Horizontal shading device	Fiberghas	0	0,3	30	0
26	16027	EE Jd Pedra Branca	3	No	2009	4137	5	4	Rectangular	0,38	16	E-W	Middle floor	3	3,38	0,65	3	162,2	0,19	2,9	166,2	0,25	1,7	140,7	5,7	0,87	CV with central corridor	2,3	0,7	60	0,77	23	0,87	2,13	64	2,30	69	Hollow element (Cobogó)	Concrete	0	1,4	0	0
27	16030	EE Profª Dulcina Neto Vidoso	3	No	2012	3819	8	4	Rectangular	0,44	18	N-S	Middle floor	3,115	3,325	0,65	3	162,2	0,19	2,9	166,2	0,25	1,7	140,7	5,7	0,87	CV with central corridor	2,45	0,7	25	0,26	22	1,05	2,06	50	1,54	64	Hollow element (Cobogó)	Concrete	0	1,4	0	0
28	16032	EE São Conceição	3	No	2010	2742	45	4	Rectangular	0,54	12	NW-SE	Middle floor	3	3,23	0,19	2,7	206,2	0,19	2,8	174	0,25	1,7	140,7	5,7	0,87	CV with central corridor	2,2	0,8	60	0,77	26	0,94	2,06	64	2,30	67	Horizontal shading device	Concrete	0	0,78	45	0
29	16034	EE Vila Yolanda IV	3	No	2013	3874	80	4	Rectangular	0,44	18	N-S	Middle floor	3,1	3,325	0,65	3	162,2	0,19	2,9	166,2	0,25	1,7	140,7	5,7	0,87	CV with central corridor	2,4	0,7	25	0,26	22	1,05	2,06	50	1,54	65	Hollow element (Cobogó)	Concrete	0	1,4	0	0
30	16196	EE Euclides Juan Carlos Berti	3	No	2009	3819	90	4	Rectangular	0,44	18	N-S	Middle floor	3,1	3,325	0,65	3	162,2	0,19	2,9	166,2	0,25	1,7	140,7	5,7	0,87	CV with central corridor	2,4	0,7	25	0,26	22	1,05	2,06	50	1,54	65	Hollow element (Cobogó)	Concrete	0	1,4	0	0
31	17027	EE Jd Santo André III	3	No	2011	4927	0	4	Rectangular	0,33	18	E-W	Bottom and middle floors	3	3,23	0,68	2,8	202,2	0,39	2,9	166,2	0,25	1,7	140,7	5,7	0,87	CV with central corridor	2,7	0,3	50	0,26	10	0,9	2,1	67	2,05	68	No	No	No	No	No	No
32	19055	EE Jd Romano	3	No	2013	5252	90	4	Rectangular	0,66	14	N-S	Middle floor	3	3,37	0,65	3	162,2	0,19	2,9	166,2	0,25	1,7	140,7	5,7	0,87	CV with central corridor	2,2	0,8	60	0,77	26	0,87	2,13	64	2,30	69	Horizontal shading device	Concrete	0	1,8	45	0
33	19057	EE Dom Bernardo Figueira	3	No	2010	2742	45	4	Rectangular	0,54	12	NW-SE	Middle floor	3	3,23	0,19	2,7	206,2	0,19	2,8	174	0,25	1,7	140,7	5,7	0,87	CV with central corridor	2,2	0,8	60	0,77	26	0,94	2,06	64	2,30	67	Horizontal shading device	Concrete	0	0,78	45	0
34	19059	Terreno CHB Água de Ham II	3	No	2017	3092	90	5	Rectangular	0,52	10	N-S	Middle floor	2,77	3	0,9	2,8	202,2	0,19	2,9	166,2	0,25	1,7	140,7	5,7	0,87	CV with central corridor	2,17	0,6	50	0,51	21	0,87	1,9	67	2,05	68	Horizontal shading device	Concrete	0	0,72	30	0
35	40120	EE Prof Carlos Estevam Aldo Martins	3	No	2010	3735	10	4	Rectangular	0,44	15	E-W	Middle floor	3,1	3,325	0,65	3	158,3	0,19	3	158,3	0,19	1,7	140,7	5,7	0,87	CV with central corridor	2,4	0,7	25	0,26	22	1,05	2,06	67	2,05	65	Hollow element (Cobogó)	Concrete	0	1,4	0	0
36	57156	EE Prof Francisco Alves Mourão	3	No	2013	3364	60	5	Rectangular	0,56	16	NW-SE	Middle floor	3	3,23	0,61	2,8	202,2	0,27	2,9	166,2	0,25	1,7	140,7	5,7	0,87	CV with central corridor	2,2	0,8	100	1,02	26	0,9	2,1	67	2,05	69	Horizontal shading device	Concrete	0	0,78	45	0
37	57163	EE Rosa Ines Borna Moreira	3	No	2010	2903	150	4	Rectangular	0,46	12	NE-SW	Middle floor	3,1	3,28	0,19	2,8	202,2	0,19	2,9	166,2	0,25	1,7	140,7	5,7	0,87	CV with central corridor	2,8	0,3	100	0,45	9	1	2,1	71	2,56	66	Hollow element (Cobogó)	Ceramic	0	0,9	0	0
38	57165	Terreno Proj Derotiza/ Santa Amélia	3	No	2014	3925	45	4	Rectangular	0,36	15	NW-SE	Middle and top floors	3	3,23	0,39	2,8	202,2	0,19	2,9	166,2	0,25	1,7	140,7	5,7	0,87	CV with central corridor	2,55	0,45	50	0,38	15	0,9	2,1	67	2,05	69	Perforated screen	Steel	40	0,77	0	0
39	58129	EE Profª Teruko Ueda Yamaguti	3	No	2009	3735	80	4	Rectangular	0,44	15	N-S	Middle floor	3,1	3,325	0,65	3	158,3	0,19	3	158,3	0,25	1,7	140,7	5,7	0,87	CV with central corridor	2,4	0,7	50	0,51	22	1,05	2,05	67	2,05	65	Hollow element (Cobogó)	Concrete	0	1,4	0	0
40	59021	EE Jardim Maria Sampaio II	3	No	2013	3888	150	3	Rectangular	0,23	15	NE-SW	Top floor	3	3,23	0,61	2,8	202,2	0,19	2,9	166,2	0,25	1,7	140,7	5,7	0,87	CV with central corridor	2,6	0,4	50	0,26	13	0,93	2,07	69	2,30	68	No	No	No	No	No	No
41	59023	EE Chácara Santa Maria	3	No	2012	2614	80	3	U-shape	0,71	16	N-S	Middle and top floors	3	3,23	0,9	2,8	202,2	0,19	2,9	166,2	0,25	1,7	140,7	5,7	0,87	CV with free facade	2,6	0,4	50	0,26	13	0,93	2,07	69	2,30	68	Perforated screen	Steel	40	1,2	0	0
42	59027	EE Pres Café Filho	3	No	2011	4355	30	4	Rectangular	0,38	18	NW-SE	Middle and top floors	3	3,23	0,79	2,8	202,2	0,19	2,9	166,2	0,25	1,7	140,7	5,7	0,87	CV with central corridor	2,55	0,45	100	0,51	15	0,9	2,1	67	2,05	69	Hollow element (Cobogó)	Concrete	0	1,8	0	0
43	59029	EE Jardim Campo Limpo O	3	No	2012	2742	30	4	Rectangular	0,54	12	NW-SE	Middle floor	3	3,23	0,19	2,7	206,2	0,19	2,8	174	0,25	1,7	140,7	5,7	0,87	CV with central corridor	2,3	0,7	60	0,67	20	0,9	2,1	64	2,30	69	Perforated screen	Steel	40	1,18	0	0
44	59031	EE Agencio de Miranda Nungo Neto	3	No	2010	2742	135	4	Rectangular	0,54	14	NE-SW	Middle floor	3	3,23	0,19	2,7	206,2	0,19	2,8	174	0,25	1,7	140,7	5,7	0,87	CV with central corridor	2,3	0,7	60	0,67	20	0,9	2,1	64	2,30	69	Horizontal shading device	Concrete	0	0,9	45	0
45	59036	EE Fátima da Vila	3	No	2012	4000	150	4	Rectangular	0,15	15	NE-SW	Bottom and middle floors	3	3,23	0,61	2,8	202,2	0,19	2,9	166,2	0,25	0,6	148,3	5,7	0,87	CV with free facade	2,4	0,2	0	0,79	7	0,9	2,1	64	2,30	69	Perforated screen	Steel	37	1,25	45	0
46	59037	EE Instituto Raimundo Serafin de Lima	3	No	2012	3944	45	3	Rectangular	0,60	16	NW-SE	Middle and top floors	3	3,23	0,61	2,8	202,2	0,27	2,9	166,2	0,19	1,7	140,7	5,7	0,87	CV with central corridor	2,2	0,8	50	0,51	26	0,9	2,1	48	1,73	69	Horizontal shading device	Concrete	0	1,8	45	0

47	61032	EE Saverio Frigoli	3	No	2011	2691	135	4	Rectangular f	0,54	12	NE-SW	Middle floor	3	3,23	0,27	2,7	206,2	0,27	2,8	174	0,25	0,6	148,3	5,7	0,87	CV with central corridor	2,2	0,8	51	0,58	22	0,94	2,06	48	1,73	67	Perforated screen	Steel	40	1,25	0	0	0
48	61043	EE Jardim Noronha V	3	No	2012	2638	135	4	Rectangular f	0,54	13	NE-SW	Middle floor	3	3,23	0,19	2,7	206,2	0,19	2,8	174	0,25	0,6	148,3	5,7	0,87	CV with central corridor	2,2	0,8	60	0,67	22	0,94	2,06	64	2,30	67	Perforated screen	Steel	40	1,25	0	0	0
49	61050	EE Proj Cocata V/ Washington Alves Nafel	3	No	2011	3530	15	4	Rectangular f	0,43	15	E-W	Middle floor	3	3,23	0,35	2,8	202,2	0,27	2,9	166,2	0,25	0,6	148,3	5,7	0,87	CV with central corridor	2,8	0,2	0	0,79	7	0,97	2,03	71	2,56	67	No	No	No	No	No	No	
50	61088	EE Jardim Sabia II	3	No	2012	3721	100	4	Rectangular f	0,50	15	N-S	Middle floor	3,1	3,4	0,27	2,8	202,2	0,27	2,9	166,2	0,25	0,6	148,3	5,7	0,87	CV with central corridor	2,2	0,8	50	0,51	25	1	2,15	48	1,73	68	No	No	No	No	No	No	
51	61090	EE Jardim Esperança	3	No	2010	4261	45	4	Rectangular f	0,50	16	NW-SE	Middle floor	3	3,23	0,68	2,8	202,2	0,19	2,9	166,2	0,25	1,7	140,7	5,7	0,87	CV with central corridor	2,6	0,4	75	0,38	13	0,92	2,08	64	2,30	68	Perforated screen	Steel	20	1,5	0	0	0
52	118162	EE Cond Red Village	3	No	2010	2233	5	3	Rectangular f	0,59	6	E-W	Middle and top floors	3,17	3,45	0,65	3	162,2	0,19	2,9	166,2	0,25	1,7	140,7	5,7	0,87	CV with central corridor	2,57	0,6	75	0,768	19	1,04	1,53	70	1,79	47	No	No	No	No	No	No	
53	505073	EE Antonio Carlos Lehman	3	No	2009	3992	45	2	Rectangular f	0,43	15	NW-SE	Bottom and top floors	3	3,23	0,61	2,8	202,2	0,19	2,9	166,2	0,25	1,7	140,7	5,7	0,87	CV with central corridor	2,3	0,7	50	0,51	23	0,9	2,1	64	2,30	69	No	No	No	No	No	No	
54	505076	EE Jardim San Diego	3	No	2010	3878	80	3	Rectangular f	0,25	14	N-S	Bottom, middle and top floors	3	3,23	0,73	2,8	202,2	0,19	2,9	166,2	0,25	1,7	140,7	5,7	0,87	CV with central corridor	2,4	0,6	100	1,02	20	0,9	2,1	64	2,30	69	No	No	No	No	No	No	
55	505078	EE Jardim Icarai	3	No	2009	3399	10	3	Rectangular f	0,27	12	E-W	Middle and top floors	3,185	3,45	0,39	2,8	202,2	0,39	2,9	166,2	0,25	0,6	148,3	5,7	0,87	CV with central corridor	2,565	0,6	100	0,51	12	1,065	2,1	79	2,30	65	Perforated screen	Steel	60	1,2	0	0	0
56	505084	EE Jardim Rosini	3	No	2011	2983	120	4	Rectangular f	0,28	12	NE-SW	Bottom and top floors	3	3,3	0,44	2,8	202,2	0,19	2,9	166,2	0,25	1,7	140,7	5,7	0,87	CV with central corridor	2,12	0,45	100	0,38	12	1,1	1,5	60	1,54	49	No	No	No	No	No	No	
57	694135	EE Prof Ary Pinto das Neves	4	No	2010	3266	5	3	Rectangular f	0,27	8	E-W	Middle and top floors	3	3,23	0,5	2,8	202,2	0,39	2,9	166,2	0,25	1,7	140,7	5,7	0,87	CV with central corridor	2,7	0,3	50	0,26	10	1,15	1,85	67	2,05	60	Hollow element (Cobogó)	Concrete	0	1,8	0	0	0
58	694137	EE Jardim dos Coqueiros	4	No	2013	3026	45	2	Rectangular f	0,33	8	NW-SE	Top floor	2,8	3,23	0,35	2,8	202,2	0,33	2,9	166,2	0,25	1,1	164,2	5,7	0,87	CV with central corridor	2,3	0,7	25	0,26	23	0,85	2,15	54	1,92	71	Perforated screen	Steel	40	1,78	0	0	0
59	705155	EE Guia Lopes	3	No	2011	3069	150	2	H-shape	0,85	10	NE-SW	Top floor	3,18	3,4	0,46	2,8	202,2	0,27	2,9	166,2	0,25	1,7	140,7	5,7	0,87	CV with free facades	1,08	2,1	71	2,34	70	4,05	0,41	0	1,18	8	Eave	Concrete	0	3,8	30	0	0
60	707157	EE Prof Henrique Rocha de Andrade	3	No	2012	2790	45	2	U-shape	0,72	8	NW-SE	Top floor	3	3,23	0,5	2,8	202,2	0,19	2,9	166,2	0,25	1,7	140,7	5,7	0,87	CV with free facades	2,2	0,8	100	1,02	26	0,9	2,1	67	2,05	68	Horizontal shading device	Concrete	0	0,63	45	0	0
61	200592	Terreno Colub Jusselino Kubischek	3	No	2017	3364	45	4	Rectangular f	0,44	12	NW-SE	Middle floor	2,9	3,325	0,46	3	158,3	0,19	3	158,3	0,25	0,5	171,8	5,7	0,87	CV with central corridor	2,3	0,7	50	0,51	22	1,05	2,05	67	2,05	65	Perforated screen	Steel	40	1,57	0	0	0
62	200638	Terreno Recanto dos Pissaras	3	No	2015	3454	100	2	Rectangular f	0,30	12	N-S	Top floor	3	3,23	0,79	2,8	202,2	0,19	2,9	166,2	0,25	1,7	140,7	5,7	0,87	CV with central corridor	2,3	0,7	50	0,51	23	0,9	2,1	71	2,56	69	Perforated screen	Steel	20	1,78	0	0	0
63	200667	Terreno B Alto Jaraguá	3	No	2015	3454	10	2	Rectangular f	0,30	12	E-W	Top floor	3	3,23	0,79	2,8	202,2	0,19	2,9	166,2	0,25	1,7	140,7	5,7	0,87	CV with central corridor	2,3	0,7	50	0,51	23	0,9	2,1	71	2,56	69	Perforated screen	Steel	20	1,78	0	0	0
64	201294	Terreno Jd Zavaglia	4	No	2016	3414	135	2	Rectangular f	0,30	12	NE-SW	Top floor	3	3,23	0,79	2,8	202,2	0,19	2,9	166,2	0,25	1,7	140,7	5,7	0,87	CV with central corridor	2,3	0,7	50	0,51	23	0,9	2,1	71	2,56	69	Perforated screen	Steel	20	1,78	0	0	0
65	201749	Terreno CHB Faz Carmo V	3	No	2016	2588	45	3	Rectangular f	0,38	15	NW-SE	Middle and top floors	2,8	3,23	0,65	3	162,2	0,19	2,9	166,2	0,25	1,1	164,2	5,7	0,87	CV with free facades	2,35	0,65	50	0,51	21	0,85	2,15	71	2,56	71	Perforated screen	Steel	40	0,7	0	0	0
66	201789	Terreno Jardim Irene IV	3	No	2016	2742	80	4	Rectangular f	0,54	8	N-S	Middle floor	2,8	3,23	0,19	2,8	202,2	0,19	2,9	166,2	0,25	0,5	171,8	5,7	0,87	CV with central corridor	2,2	0,8	60	0,77	26	0,94	2,06	64	2,304	67	Perforated screen	Steel	20	1,18	0	0	0