

ARQUITETURA ESCOLAR INFANTIL EM CONTÊINER: ANÁLISE DA ESTRUTURA E DO DESEMPENHO TÉRMICO

PRIMARY SCHOOL DESIGNED IN CONTAINER: STRUCTURE AND THERMAL PERFORMANCE ANALYSIS

FREITAS, LUIZA DUARTE DE¹; GOMES, ADRIANO PINTO²; LAGE, CARMEM MIRANDA³

¹Mestre em Engenharia das Construções, Universidade Federal de Ouro Preto, luiza.freitas@aluno.ufop.edu.br;

²Doutor em Engenharia Civil, Professor do Instituto Federal de Minas Gerais, adriano.gomes@ifmg.edu.br;

³Doutora em Engenharia Civil, Professora Adjunta do Departamento de Tecnologia em Engenharia Civil, Computação e Humanidades, Universidade Federal de São João Del-Rei, carmem.lage@ufsj.edu.br.

RESUMO

Neste artigo, investigou-se a viabilidade de construir edificações escolares infantis estruturadas em contêineres, a partir da análise estrutural e da análise do desempenho térmico de um projeto arquitetônico proposto para a Zona Bioclimática 3, conforme NBR 15.220 (ABNT, 2005). Apesar de a educação em creches e escolas infantis ser um direito garantido às crianças de zero a seis anos, de acordo com a Constituição da República Federativa do Brasil (Brasil, 1988), essa demanda não é totalmente suprida e, entre os diversos motivos, pode-se incluir a falta de infraestrutura adequada disponível. Assim, sugeriu-se a reutilização desses equipamentos como forma de se contribuir para a sustentabilidade e para a expansão da oferta de espaços apropriados à educação infantil. Porém, análises e adaptações foram necessárias para que eles fossem considerados proveitosos na construção civil. Dessa forma, foram realizadas duas simulações computacionais: a primeira feita no programa SAP 2000 - para verificar o comportamento estrutural do modelo por meio de ensaios nos quais se levaram em conta os esforços e os valores das deformações, deslocamentos e tensões; e a segunda, feita na versão 9.6 do programa Energyplus, para verificar o desempenho térmico da edificação naturalmente ventilada, considerando-se os ambientes de longa permanência. Os resultados sugeriram que, em relação à estrutura, torna-se necessário inserir reforços quando o projeto arquitetônico indicar a retirada total das chapas laterais do contêiner. Já em relação ao desempenho térmico, as estratégias adotadas foram suficientes para atender aos requisitos mínimos da norma de desempenho NBR 15.575 (ABNT, 2013/em:2021).

Palavras-chave: Simulação computacional; edificação contêiner; desempenho térmico; arquitetura escolar infantil; análise estrutural.

ABSTRACT

This article aims to investigate the possibility to build primary schools structured in containers regarding the structure and thermal performance aspects. Containers are used to transport goods for approximately 15 years, and then are abandoned in ports all over the world, which represents a huge environmental damage. At the same time, education is a right guaranteed to children from zero to six years; however this demand is not fully accomplished and one of the reasons why is the lack of appropriate buildings. Considering that, it was suggested the reuse of this equipment as a way to contribute to sustainability and also to reduce the vacancy deficit. However, adaptations are required before using the containers in the construction field. Regarding the structure, the proposed design was simulated using SAP 2000 software in order to verify the need for structural reinforcement. And in relation to thermal performance, the school's design was simulated using the 9.6 version of the EnergyPlus software. The results showed that structure reinforcement is needed when the design suggests the full removal of the container side sheet. On the other hand, the strategies used in the design and the building implantation were enough to guarantee the thermal performance according to Brazilian norms.

Key-words: Computer simulation; container building; thermal performance.

INTRODUÇÃO

As escolas são resultado de um extenso processo histórico no qual se entendia que elas fossem responsáveis pela transferência de valores e de conhecimento à sociedade. Nos anos 1970, no entanto, houve um movimento no qual se pretendia que a arquitetura promovesse inovações nos processos de ensino e aprendizagem, embora ainda hoje sejam praticados métodos homogêneos e padronizados, mesmo que as crianças apresentem características de aprendizado tão diversas. Dessa forma, para mudar o imaginário social instaurado pela sala de aula, exige-se mais do que simplesmente flexibilidade na arquitetura (Gonçalves, 2011; Kowaltowski, 2011; Silvestrin, 2012).

Nesse sentido, estudiosos que tiveram grandes contribuições para a educação e o desenvolvimento infantil, como Maria Montessori, Jean-Jacques Rousseau, Friedrich Froebel, John Dewey e Jean Piaget, acreditavam na autonomia, na liberdade e em brincadeiras e atividades que despertam a curiosidade natural do ser humano. Dessa forma, a criança tem grande importância no seu próprio processo de aprendizagem, enquanto os educadores têm o papel de serem apoio, mas não os protagonistas do processo (Barros, 2009; Kowaltowski, 2011).

A educação infantil em creches e pré-escolas é um direito social garantido às crianças de zero a seis anos de acordo com a Constituição Brasileira de 1988. No entanto, esse direito não é assegurado de forma integral. De acordo com o Instituto Rui Barbosa (CTR-IBR, 2022), a taxa de atendimento de crianças entre quatro e cinco anos é de 81%, enquanto que em relação às crianças de zero a três anos é de apenas 31%. Segundo o Plano Nacional de Educação (Plano [...], 2017), o Brasil precisa garantir que pelo menos 50% da população de zero a três anos esteja matriculada em creches até 2024. Assim, faz-se necessária a criação de mais 2,2 milhões de vagas a fim de se cumprir a meta estabelecida para a faixa etária de até três anos.

Ao mesmo tempo, os contêineres marítimos têm vida útil destinada ao transporte de mercadorias de aproximadamente 15 anos e, após esse período, milhares deles são descartados nos portos anualmente, o que representa um grande problema ambiental. Então, na busca de reutilizar esses equipamentos, está em crescimento o seu uso como método de construção, unindo rapidez na execução e redução na geração de entulhos (Viana, 2018).

Dessa forma, a falta de estrutura adequada para a educação infantil compromete não só as condições de trabalho, mas também a proposta pedagógica e o bem-estar dos alunos. (Silva, Braga, Vieira, 2021). Esse trabalho teve como objetivo analisar o uso de contêineres como base arquitetônica modular para o desenvolvimento de espaços educacionais sustentáveis, acessíveis e apropriados ao desenvolvimento infantil. Para isso, adaptações foram necessárias para que os contêineres pudessem ser utilizados de maneira efetiva na construção civil. Sendo assim, foram realizadas duas simulações computacionais no projeto arquitetônico proposto: simulação do comportamento estrutural no programa SAP2000 e avaliação do desempenho térmico na versão 9.6 do programa *EnergyPlus*.

PROJETO ARQUITETÔNICO

¹HC é uma categoria de contêiner que se diferencia da comum (Dry box) por ter pé-direito superior, sendo, portanto, mais utilizada na construção civil. Tendo dimensão interna aproximada de: 12,04m x 2,35m x 2,69m (C x L x H) - quando de 40 pés - e 6,05m x 2,35m x 2,69m, quando de 20 pés.

²De acordo com a NBR 15.220 (ABNT, 2005), Zona Bioclimática (ZB) é a região geográfica homogênea quanto aos elementos climáticos que interferem nas relações entre ambiente construído e conforto humano. A ZB3, por sua vez, é a zona onde a cidade de Belo Horizonte/MG está inserida.

³Dry Box é a categoria standard de contêiner na qual apresenta dimensões internas aproximadas de: 12,04m x 2,35m x 2,38m - quando de 40 pés - e 5,91m x 2,35m x 2,38m - quando de 20 pés.

O projeto arquitetônico escolar infantil, proposto predominantemente em contêineres do tipo *High Cube (HC)*¹, foi desenvolvido por módulos que configuram um ambiente ou um setor, adotando-se fundamentos de metodologias que priorizam a autonomia das crianças, como Montessori e Waldorf. Seguindo as diretrizes de construção para a zona bioclimática² 3, de acordo com a NBR 15.220 (ABNT, 2005), e as diretrizes da norma de acessibilidade NBR 9050 (ABNT, 2020).

O estudo de implantação da edificação foi realizado em terreno hipotético na cidade de Belo Horizonte/MG, cujos ventos predominantes vêm da direção leste (INMET, 2021). De acordo com as diretrizes da NBR 15.220 (ABNT, 2005), para a zona bioclimática estudada, as aberturas para ventilação devem ter tamanho médio, ou seja, com área entre 15 e 25% do piso. No verão, deve-se garantir a ventilação cruzada e, no inverno, deve-se permitir o aquecimento solar da edificação e fazer uso de revestimentos pesados a fim de se manter a inércia térmica.

A edificação proposta é formada por quatro módulos de sala de aula, um módulo de berçário, um setor de serviço (vestiários, sanitários, DML, copa, fraldário e lactário), um setor de refeitório (cozinha, refeitório e recreio coberto), um setor de administração (sala de professores, administração, coordenação, secretaria e hall de entrada) e um setor de depósito (depósito de resíduos sólidos e almoxarifado). Dos quais apenas no setor de depósito foram utilizados contêineres do tipo *Dry Box*³, devido à sua limitação de pé direito. Conforme se apresenta na Figura 1 a e b.

⁴Os contêineres são usualmente medidos em pés, sendo que 1 pé equivale à 0,3048m. Portanto, 20 pés = 6,096m e 40 pés = 12,192m.

Formados por dois módulos de 40 pés e um de 20 pés⁴, tanto o formato do berçário, quanto o da sala de aula, assim como o dos seus mobiliários, aludem à criação de “cantos” propostos pela metodologia Waldorf, nos quais nichos e espaços pequenos, por remeterem ao ambiente familiar, promovem a sensação de segurança e proporcionam experiência estimulante para as crianças (Oliveira e Imai, 2021), conforme se apresentam nas Figuras 2, 3 e 4. Nos dois ambientes, as janelas circulares são propostas a partir da reutilização de barris de óleo de palma, inspiradas no projeto ganhador de menção honrosa do concurso “Uma escola para Guiné-Bissau”, de autoria da arquiteta Liege Couto (Concurso de Projetos, 2021), conforme se apresenta na Figura 5.

Figura 1 – Implantação (a) Por setores e com direção dos ventos predominantes; (b) Com a disposição das categorias de contêiner: HC de 40; HC de 20 pés e DB de 20 pés
Fonte: Os autores

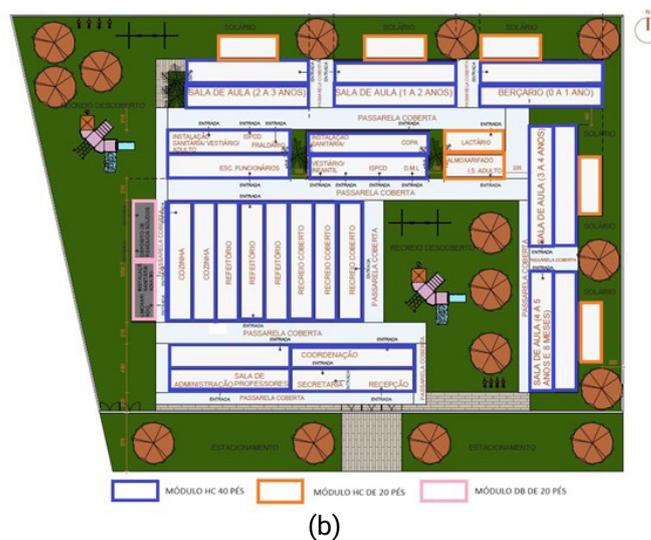
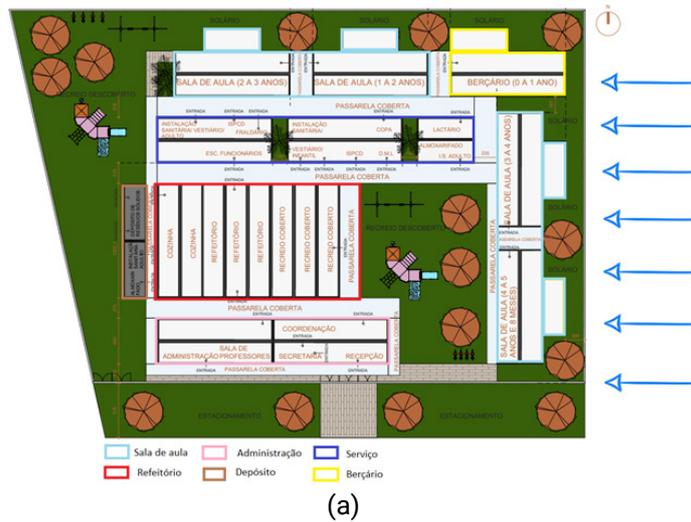


Figura 2 – Sala de aula
Fonte: Os autores

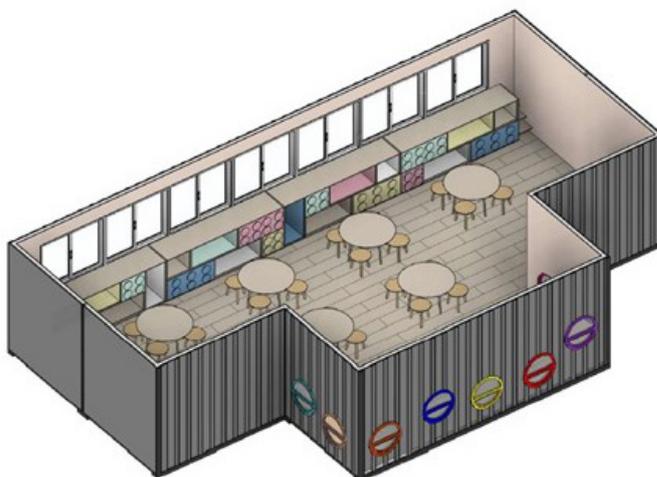


Figura 3 – Berçário
Fonte: Os authors

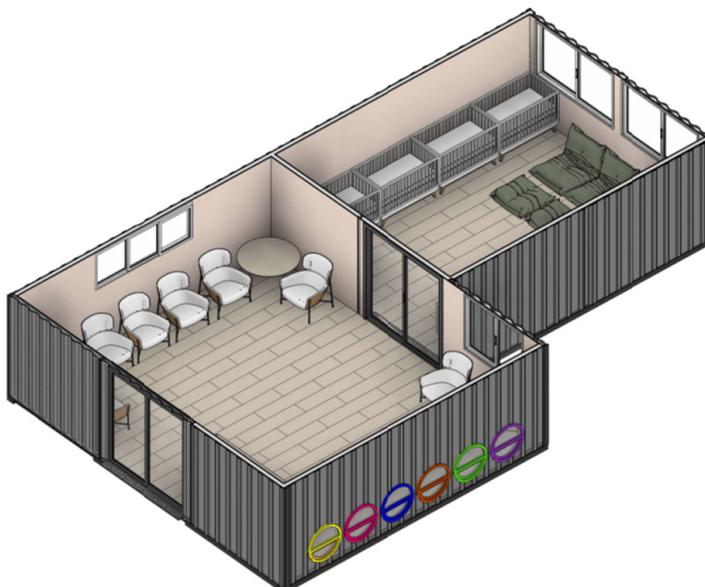


Figura 4 – Mobiliário
(a) Sala de aula
(b) Berçário
Fonte: Os autores

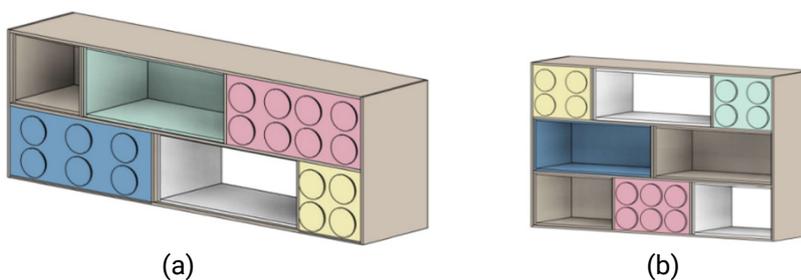


Figura 5 – Janelas feitas a partir de barris de óleo de palma
Fonte: Adaptado de Concurso de Projetos (2021)



Em relação às estratégias de condicionamento passivo da edificação, as salas de aula de crianças a partir de três anos possuem janelas com peitoril baixo voltadas para leste e janelas com peitoril alto voltadas para oeste, permitindo a ventilação cruzada. Entretanto, como as aberturas maiores ficaram voltadas para oeste, para reduzir a incidência solar direta, a fachada foi protegida por varanda coberta e por árvores caducifólias. Essas árvores reduzem a incidência solar direta durante o verão e, por perderem as folhas no outono e no inverno, permitem maior entrada de luz nas épocas mais frias do ano, conforme se apresenta nas Figuras 6 e 7.

Figura 6 – Fachada Oeste durante o verão
Fonte: Os autores



Figura 7 – Fachada Oeste durante o inverno
Fonte: Os autores



Também foram previstas janelas voltadas para o leste no berçário e nas salas de aula situadas ao norte do terreno. Nesse bloco, no entanto, a função das passarelas é proteger a circulação de pessoas contra as intempéries, uma vez que estão situadas ao sul. Assim, para garantir a ventilação cruzada, foram criados espaços descobertos entre os módulos do setor de serviço, conforme se apresenta na Figura 8.

Figura 8 – Pátios descobertos

Fonte: Os autores



O setor administrativo ficou localizado junto à entrada da edificação, não só para trazer segurança, mas também porque ao receber exposições com trabalhos de alunos e ao permitir a presença da comunidade no ambiente escolar, esse espaço faz o papel de transição gradual entre o mundo interno e o externo (Oliveira e Imai, 2021). Conforme se apresenta na Figura 9.

Figura 9 – Hall de entrada

Fonte: Os autores



Em relação à importância de construir espaços multifuncionais em escolas acolhedoras, o setor de refeitório foi estrategicamente colocado próximo ao pátio central, para servir como recreio coberto nos dias de chuva, espaço para as confraternizações, reunião de pais, exposição de trabalhos das crianças e para desenvolvimento de oficinas e outras atividades. Quando utilizado para confraternizações, o espaço multiuso também se conecta ao pátio principal, conforme apresentado nas Figuras 10 e 11.

Figura 10 – Setor de refeitório
Fonte: Os autores

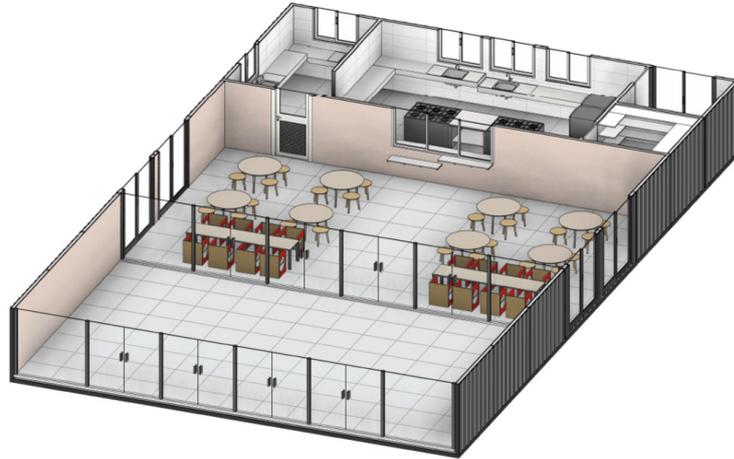


Figura 11 – Espaço multiuso
Fonte: Os autores



Além do pátio principal, também foi proposto outro pátio ao lado esquerdo do terreno, com o intuito de separar o recreio entre as crianças maiores e menores, caso haja necessidade. Ao fundo de cada sala de aula, também foi proposto espaço destinado a solário e a atividades individualizadas para cada faixa-etária. Conforme apresentado na Figura 12.

Figura 12 – Áreas ao ar livre
Fonte: Os autores



MÉTODO

Para a análise estrutural, realizou-se o ensaio de um contêiner do tipo *High Cube* no qual os tipos de materiais e as seções transversais dos perfis considerados foram baseados no trabalho de França Jr. (2017). Para tanto, utilizou-se o programa comercial SAP2000 (versão 15.0.1) para a modelagem computacional do contêiner, no qual foram considerados elementos de barra e elementos quadriláterais da própria biblioteca do programa.

As cargas e as combinações adotadas na análise foram as constantes nas normas: NBR 8800 (ABNT, 2008), NBR 6120 (ABNT, 1980) e NBR 6123 (ABNT, 1988). Para as cargas permanentes (P), foram considerados o peso próprio dos elementos estruturais em aço (perfis e chapas) e o peso próprio dos revestimentos. Considerou-se, também, carga acidental (A) de 3 kN/m² (Escolas – Sala de aula) e cargas de vento (V) aplicadas a 0° e a 90° nas chapas laterais do contêiner por meio de uma pressão igual a 0,9 kN/m². As combinações empregadas para obtenção dos esforços solicitantes de cálculo (Fd), bem como os coeficientes de ponderação das ações, foram os seguintes:

- a) Para a combinação 1: $F_d = 1,4xP + 1,5xA$
- b) Para a combinação 2: $F_d = 1,4xP + 1,5xA + 1,4x0,6xV$ (vento a 0°)
- c) Para a combinação 3: $F_d = 1,4xP + 1,5xA + 1,4x0,6xV$ (vento a 90°)

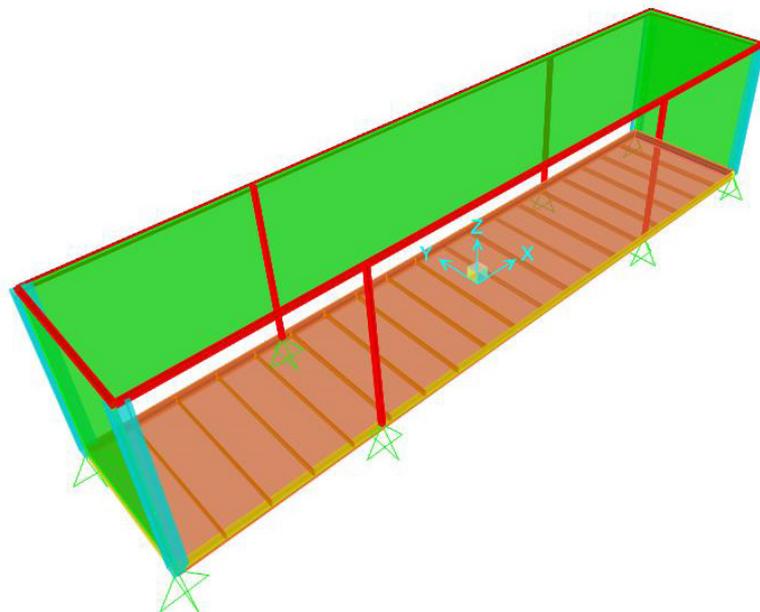
Além dos esforços, a análise também teve por objetivo obter os valores das deformações nos elementos estruturais, deslocamentos e tensões nas chapas. Dessa forma, foram realizados três experimentos numéricos com o contêiner de 40 pés do tipo HC.

No primeiro deles, considerou-se o contêiner em sua forma original, sem aberturas, com todas as chapas de fechamento e apoiado nos quatro cantos inferiores da estrutura. No segundo experimento, mantiveram-se as mesmas condições de apoio, porém modelou-se o contêiner sem os fechamentos laterais que ficam ao longo do comprimento. A última é uma das situações mais críticas apresentadas para o uso do contêiner no projeto da escola.

Já no terceiro experimento, além da ausência das chapas laterais, considerou-se a inclusão de duas colunas e dois apoios em cada lateral do contêiner, posicionadas a aproximadamente 3m das colunas dos cantos,

conforme apresentado na Figura 13. Essa situação simula uma condição no projeto arquitetônico em que se tem um contêiner de 20 pés posicionado ao lado (e de forma centralizada) de um contêiner de 40 pés. Os valores dos esforços resistentes de cálculo foram obtidos por meio de cálculo via programa EXCEL e baseados nas prescrições das normas NBR 8800 (ABNT, 2008) e NBR 14762 (ABNT, 2010).

Figura 13 – Geometria do contêiner no terceiro experimento
Fonte: Os autores



Para a análise do desempenho térmico, o procedimento de avaliação adotado foi baseado nas diretrizes da norma NBR 15.575-1 (ABNT, 2013/EM: 2021) que, apesar de se referir a edificações residenciais, tornou-se pertinente sua utilização neste projeto, uma vez que, aborda a avaliação em ambientes de longa permanência, como é o caso das salas de aula. Para a simulação computacional, utilizou-se a versão 9.6.0 do programa *EnergyPlus* (DOE, 2021), considerando-se a edificação naturalmente ventilada e considerando o arquivo climático da cidade de Belo Horizonte/MG, disponibilizado pelo INMET (LABEEE, 2022). Para a análise da temperatura do solo, foi utilizado o objeto *Ground Domain* do programa *EnergyPlus* (DOE, 2021).

De acordo com a NBR 15.575-1 (ABNT, 2013/EM: 2021), a simulação deve ser realizada considerando-se dois modelos: o real e o de referência, ambos referem-se à edificação a ser avaliada. No entanto, no modelo de referência, utilizam-se características de referência para: as propriedades térmicas dos sistemas de construção; os percentuais transparentes; o percentual de abertura para ventilação e as características das esquadrias. Além disso, no Modelo de Referência, não são considerados

os elementos de sombreamento externos fixos na fachada como brises e beirais. A Tabela 1, apresenta as propriedades termofísicas dos materiais e a composição dos fechamentos utilizados no modelo real.

Tabela 1 – Composição de fechamentos e propriedades termofísicas dos materiais

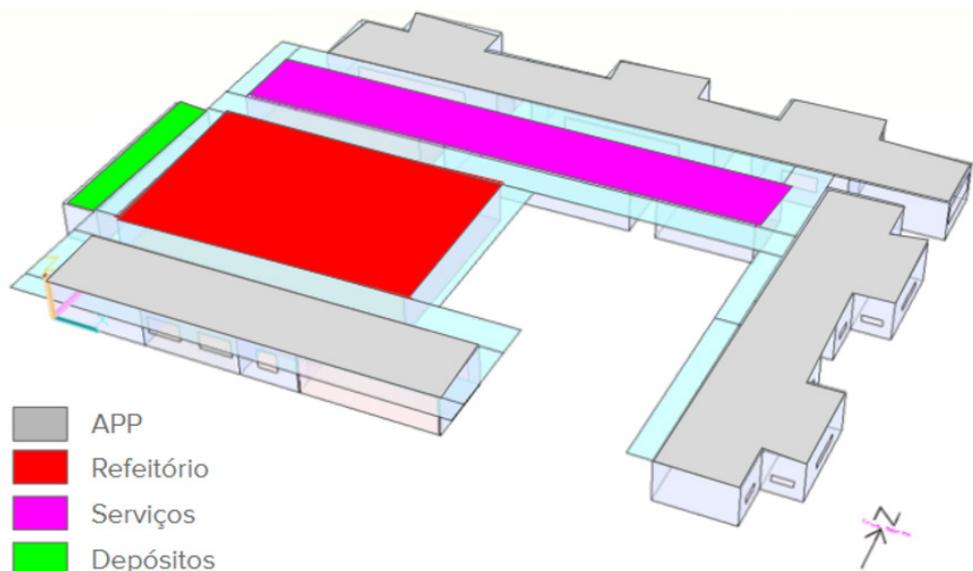
Fonte: Os autores

| Fechamento | Material de composição | Espessura (m) | Propriedades Termofísicas | | | |
|---------------------|------------------------|---------------|---------------------------|-------------------|------------|----------|
| | | | [kg/m³] | λ [W/m.K] | c [J/kg.K] | α |
| Paredes e Cobertura | Chapa de aço | 0,0026 | 7800 | 55 | 460 | 0,5 |
| | Lã de vidro | 0,09 | 10 | 0,045 | 700 | 0,5 |
| | Gesso acartonado | 0,0125 | 750 | 0,35 | 840 | 0,5 |
| Piso | Compensado naval | 0,03 | 550 | 0,15 | 2300 | 0,5 |
| Portas | Madeira | 0,03 | 600 | 0,15 | 1340 | 0,5 |
| Janelas | Vidro comum | 0,003 | 2500 | 1,00 | 840 | - |

Para a simulação, os ambientes da escola foram divididos entre Ambientes de Permanência Prolongada – APP (administrativo, salas de aula e berçário) e Ambientes de Permanência Transitória (setores de serviço, refeitório e depósito), conforme apresentado na Figura 14. As áreas de permanência transitória foram modeladas de forma simplificada, agrupando os ambientes para formar uma única zona térmica em cada setor: refeitório, serviço e depósito; já os ambientes do setor administrativo e das salas de aula foram representados de forma detalhada, incluindo as divisões internas, as portas e as janelas. Porém, devido a uma limitação do programa na modelagem de superfícies curvas, as janelas circulares foram substituídas por aberturas retangulares de mesma área.

Figura 14 – Setorização do modelo genérico

Fonte: Os autores



De acordo com a NBR 15575 (2013/Em:2021), no modelo real devem-se considerar as fontes internas de calor dos ocupantes, das lâmpadas e dos equipamentos nos Ambientes de Permanência Prolongada. Na Tabela 2, apresentam-se os horários de ocupação de cada APP, que correspondem também aos horários de acionamento da iluminação artificial e dos equipamentos elétricos. Adota-se a taxa de calor total liberada por cada adulto de 115 W e por cada criança de 86 W, que corresponde a aproximadamente 75% do calor liberado por um homem adulto.

A iluminação artificial segue o mesmo padrão da rotina da ocupação, sendo diferenciada para os ambientes administrativos e salas de aula. Adota-se uma taxa de 16 W/m² de densidade de potência instalada (DPI) do sistema de iluminação artificial em todos os ambientes de permanência prolongada (ABNT, 2008). Já em relação à carga interna dos equipamentos, foi considerado apenas nos ambientes de permanência prolongada do setor administrativo (Administrativo, Professores, Secretaria e Coordenação), adotando-se a potência de 120W, conforme recomendação da Norma.

Na simulação computacional com uso da ventilação natural no Modelo Real, o percentual de abertura para ventilação (Pv, APP) corresponde a 50% em todas as aberturas. Isso com exceções das janelas circulares nas salas de aula que são do tipo maxim-ar e, portanto, permitem a abertura para ventilação de 100%.

Tabela 2 – Rotinas de uso e ocupação
 Fonte: Os autores

| Ambiente | Horário de ocupação | Número de ocupantes | Iluminação (W/m ²) | Equipamentos (W/m ²) |
|--------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| Administrativo | 07:00 às 12:00h | 3 adultos | 16 | 120 |
| | 13:00 às 18:00h | | | |
| Professores | 07:00 às 12:00h | 3 adultos | 16 | 120 |
| | 13:00 às 18:00h | | | |
| Secretaria | 07:00 às 12:00h | 1 adulto | 16 | 120 |
| | 13:00 às 18:00h | | | |
| Coordenação | 07:00 às 12:00h | 1 adulto | 16 | 120 |
| | 13:00 às 18:00h | | | |
| Berçário | 07:30 às 11:30h | 2 adultos 8 bebês | 16 | - |
| | 13:30 às 17:30h | | | |
| Sala de 1 a 2 anos | 07:30 às 11:30h | 2 adultos 20 crianças | 16 | - |
| | 13:30 às 17:30h | | | |
| Sala de 2 a 3 anos | 07:30 às 11:30h | 2 adultos 20 crianças | 16 | - |
| | 13:30 às 17:30h | | | |

| Ambiente | Horário de ocupação | Número de ocupantes | Iluminação (W/m ²) | Equipamentos (W/m ²) |
|--------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| Sala de 3 a 4 anos | 07:30 às 11:30h | 2 adultos 20 crianças | 16 | - |
| | 13:30 às 17:30h | | | |
| Sala de 4 a 5 anos | 07:30 às 11:30h | 2 adultos 20 crianças | 16 | - |
| | 13:30 às 17:30h | | | |

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na simulação do comportamento estrutural, foi considerada a combinação mais desfavorável para obtenção dos valores dos esforços solicitantes de cálculo em todas as análises. Na primeira, com o contêiner original, observou-se que os esforços solicitantes de cálculo apresentaram valores inferiores aos valores de esforços resistentes prescritos pelas normas NBR 8800 (ABNT, 2008) e NBR 14762 (ABNT, 2010). E os deslocamentos da estrutura apresentaram valores pouco significativos: da ordem de 1mm.

No segundo experimento, foi observado que, ao se retirar as chapas que compõem o fechamento lateral ao longo do comprimento, as vigas laterais inferiores e as vigas superiores apresentaram grandes deformações, superiores aos limites estabelecidos pelas normas. Além disso, apesar de um menor peso próprio em função da retirada das chapas, as vigas inferiores também apresentaram um valor de momento fletor solicitante muito superior ao resistente, conforme se apresenta na Tabela 3 e nos Gráficos 1 e 2. Houve também um aumento significativo dos deslocamentos na direção longitudinal com valor máximo superior a 15 mm, de acordo com a Figura 15.

Tabela 3 – Esforços solicitantes e resistentes
Fonte: Os autores

| Elemento estrutural | Esforço solicitante | Esforço resistente |
|------------------------------|---------------------|--------------------|
| Momento fletor (kNmm) | | |
| Viga lateral inferior | -52121,0 | -13300,0 |
| Viga lateral superior | -4310,0 | -4350,0 |
| Deformação nas vigas (mm) | | |
| Viga lateral inferior | 236,72 | 34,6 |
| Viga lateral superior | 197,4 | 48,44 |

Gráfico 1 – Esforços solicitantes e resistentes: momento fletor (kNmm)
Fonte: Os autores

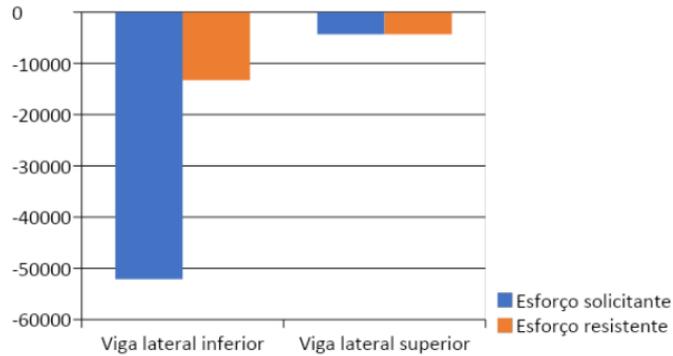


Gráfico 2 – Esforços solicitantes e resistentes: deformação das vigas (mm)
Fonte: Os autores

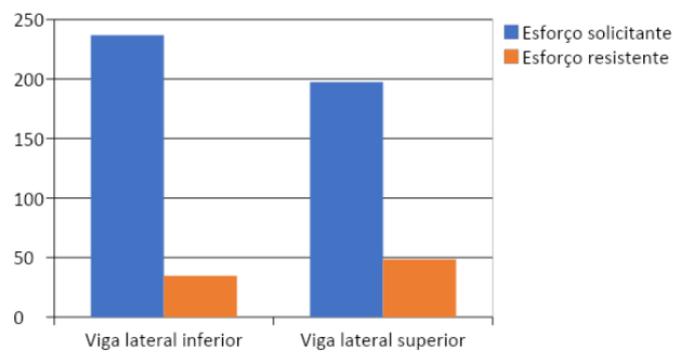
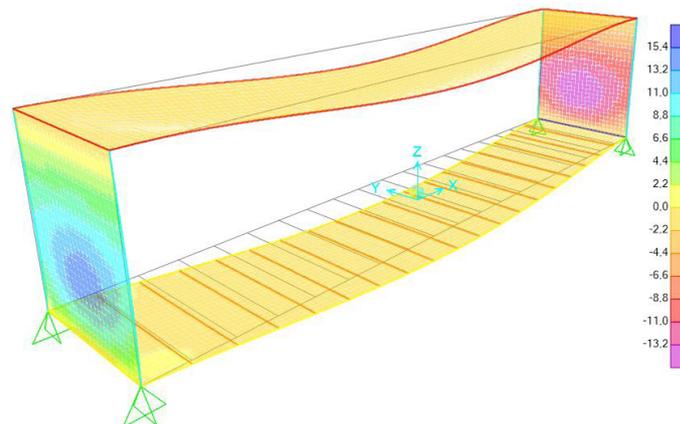


Figura 15 – Deslocamento longitudinal do contêiner
Fonte: Os autores



No terceiro experimento, em função das alterações propostas no contêiner, conseguiu-se obter valores de momentos fletores solicitantes bem inferiores aos da análise anterior e dentro dos valores de resistência normativos. Além disso, os valores das deformações das vigas também apresentaram resultados dentro dos limites previstos pela norma, presentes na Tabela 4 e nos Gráficos 3 e 4. Os deslocamentos da estrutura apresentaram valores pouco significativos: da ordem de 1 mm.

Tabela 4 – Esforços solici-
tantes e resistentes
Fonte: Os autores

| Elemento estrutural | Esforço solicitante | Esforço resistente |
|---------------------------|---------------------|--------------------|
| Momento fletor (kNmm) | | |
| Viga lateral inferior | -4926,2 | -13300,0 |
| Viga lateral superior | -989,9 | -4350,0 |
| Deformação nas vigas (mm) | | |
| Viga lateral inferior | 14,8 | 17,45 |
| Viga lateral superior | 17,3 | 24,44 |

Gráfico 3 – Esforços soli-
citantas e resistentes: mo-
mento fletor (kNmm)
Fonte: Os autores

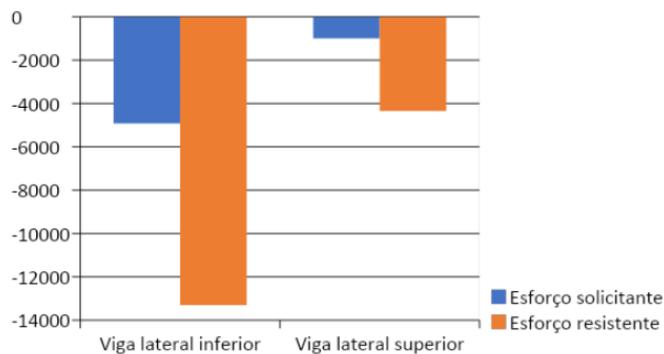
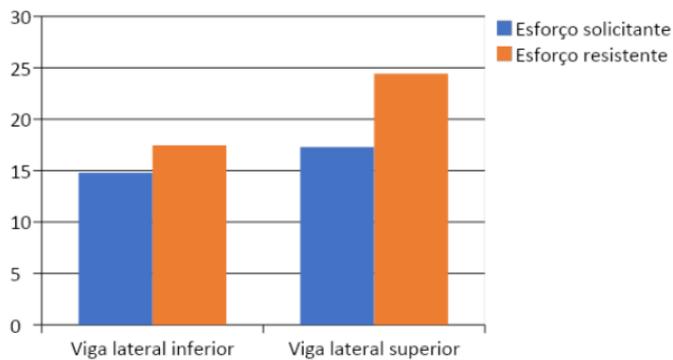


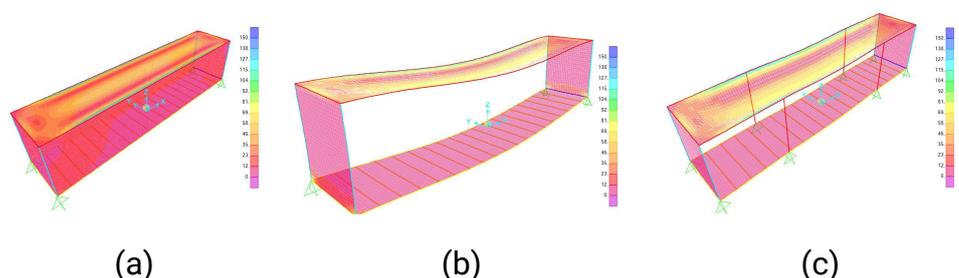
Gráfico 4 – Esforços soli-
citantas e resistentes: Defor-
mação nas vigas (mm)
Fonte: Os autores



⁵O critério de falha de von Mises indica que o escoamento de um material sólido se inicia ao atingir determinado valor crítico.

Em todas as três análises, a tensão máxima de *Von Mises*⁵, encontrada nas chapas foi inferior ao limite de escoamento do aço empregado. Na primeira análise (Figura 16.a):138 Mpa; na segunda análise (Figura 16.b): 148,5 Mpa e na terceira análise (Figura 16.c): 145,9 Mpa.

Figura 16 – Valor de tensão
máxima nas chapas
Fonte: Os autores



Em relação ao desempenho térmico, no procedimento de simulação computacional que permite a avaliação do nível de desempenho mínimo (M) na zona bioclimática 3, deve-se avaliar o percentual de horas de ocupação da Unidade Habitacional (UH) dentro da faixa de temperatura operativa - PHFTUH e as temperaturas operativas anuais máxima e mínima da UH - TomáxUH e TomínUH do Modelo Real em relação ao Modelo de Referência. Na Tabela 5 e nos Gráficos 5 e 6, apresentam-se os resultados obtidos em cada APP, enquanto que na Tabela 6, apresenta os resultados da edificação em cada modelo e os critérios para o atendimento ao nível mínimo.

Tabela 5 – Resultados da simulação computacional em cada APP
Fonte: Os autores

| APP | Modelo Real | | | Modelo de Referência | | |
|----------------------------|--------------|----------------|----------------|----------------------|---------------|---------------|
| | PHFT APP (%) | Tomáx APP (°C) | Tomín APP (°C) | PHFTAPP (%) | TomáxAPP (°C) | TomínAPP (°C) |
| Administrativo | 54,9 | 35,1 | 14,3 | 57,1 | 35,5 | 13,8 |
| Professores | 48,5 | 34,8 | 18,1 | 49,5 | 35,7 | 16,2 |
| Secretaria | 53,2 | 35,3 | 14,6 | 59,8 | 34,8 | 14,6 |
| Coordenação | 54,2 | 35 | 15,6 | 54,5 | 34,7 | 15,5 |
| Amamentação | 51,4 | 34,4 | 15 | 55,2 | 35,5 | 14,2 |
| Berçário | 44,9 | 37,7 | 16,2 | 54,8 | 35,9 | 14,7 |
| Sala de aula de 1 a 2 anos | 48,5 | 34,4 | 17,8 | 47,2 | 36,4 | 15,4 |
| Sala de aula de 2 a 3 anos | 48,2 | 34,4 | 17,8 | 47 | 36,4 | 15,4 |
| Sala de aula de 3 a 4 anos | 50,1 | 34,1 | 17,8 | 48,4 | 37,1 | 15,4 |
| Sala de aula de 4 a 5 anos | 47,7 | 34,3 | 17,8 | 46,8 | 37,2 | 15,3 |

Gráfico 5 – Temperatura operativa máxima nos APP dos modelos Real e Referência
Fonte: Os autores

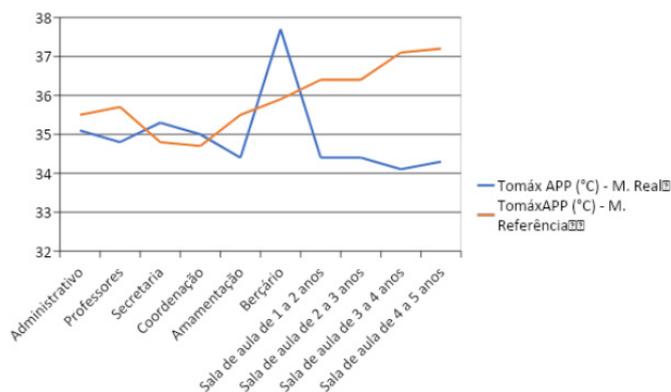


Gráfico 6 – Temperatura operativa mínima nos APP dos modelos Real e Referência

Fonte: Os autores

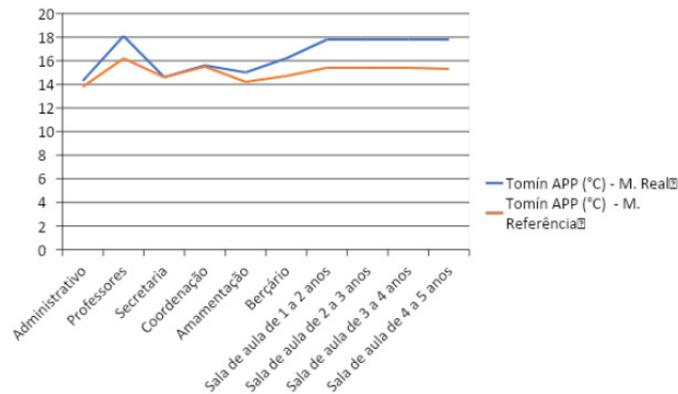


Tabela 6 – Diagnóstico de desempenho térmico da edificação

Fonte: Os autores

| Critério | Modelo real | Modelo de referência | Critério para nível de desempenho mínimo (M) | Atendimento do nível mínimo |
|--------------|-------------|----------------------|--|-----------------------------|
| PHFTUH (%) | 50,2 | 52 | $PHFTUH_{real} > 0,9 \cdot PHFTUH_{ref}$ | (x) sim () não |
| TomáxUH (°C) | 35,3 | 37,2 | $TomáxUH_{real} \leq TomáxUH_{ref} + \Delta Tomáx^1$ | (x) sim () não |
| TomínUH (°C) | 14,3 | 13,8 | $TomínUH_{real} \geq TomínUH_{ref} - \Delta Tomín^2$ | (x) sim () não |

Nota: 1. $\Delta Tomáx = 1 \text{ }^\circ\text{C}$; 2. $\Delta Tomín = 1 \text{ }^\circ\text{C}$

De acordo com os resultados apresentados na simulação computacional, todos os critérios foram atendidos para a obtenção do nível mínimo. De acordo com Viana, Souza e Gomes (2019), o uso de isolamento térmico nos fechamentos proporcionam um melhor desempenho térmico à edificação situada na zona bioclimática 3. No entanto, somente esta estratégia pode não ser suficiente para garantir um bom desempenho térmico, uma vez que, segundo o trabalho de Buges *et al.* (2014), fechamentos externos compostos por chapa de aço ondulada, lã de vidro, câmara de ar e placa de gesso oferecem capacidade térmica muito inferior ao solicitado pelo pré-requisito do Regulamento Técnico da Qualidade para o nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R)⁶ para as Zonas Bioclimáticas de 1 a 7.

De acordo com as diretrizes de construção indicadas pela NBR 15.220 (ABNT, 2005), para a ZB3, deve-se permitir a entrada de luz solar durante o inverno, porém é preciso prever o sombreamento das aberturas durante o verão. E como estratégias de condicionamento térmico passivo são indicadas a ventilação cruzada durante o verão e fechamentos internos pesados para garantir a inércia térmica durante o inverno. Portanto, segundo Lengen (2009), pode-se evitar a entrada da radiação solar dire-

⁶De acordo com o Manual para aplicação do RTQ-R (2012), o RTQ-R apresenta requisitos para a classificação da eficiência energética de unidades habitacionais autônomas (UH). Além disso, existem dois sistemas individuais, para as UH, que compõem o nível de eficiência energética segundo a Zona Bioclimática em que a edificação está inserida: o sistema de aquecimento de água e a envoltória.

ta no interior das edificações por meio de vegetação, beirais ou outros elementos arquitetônicos que funcionem como barreira. Tendo em vista que, após algum tempo do contato entre raios solares e as faces externas da edificação, o calor penetra no ambiente interno ocasionando o aumento da temperatura.

Ao projetar as esquadrias em diferentes alturas e com proteção solar exterior, permite-se a distribuição diferenciada do fluxo de ar por meio da ventilação cruzada. Entretanto, é preciso posicioná-las estrategicamente em relação à direção predominante dos ventos (Lengen, 2009). Deste modo, a adoção dessas estratégias no projeto arquitetônico proposto, permitiu que a edificação atingisse o desempenho térmico mínimo exigido pela NBR 15.575 (2013/Em: 2021).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso do contêiner na construção civil vem sendo empregado em larga escala e pode ser uma alternativa viável para a contribuição do fornecimento de estrutura adequada às escolas públicas, tendo em vista a diminuição do tempo de obra e a menor geração de resíduos. Dessa forma, esta pesquisa analisou o uso de contêineres marítimos como base arquitetônica modular para o desenvolvimento de uma escola de educação infantil levando-se em consideração a sua viabilidade estrutural e o seu desempenho térmico de modo a proporcionar segurança estrutural e conforto aos usuários.

Para a concepção do projeto, considerou-se a implantação em terreno hipotético na cidade de Belo Horizonte/MG. Dessa forma, foram adotadas as diretrizes de construção para a zona bioclimática 3, de acordo com a NBR 15.220 (ABNT, 2005) as diretrizes apresentam métodos pedagógicos, dos quais valorizam a autonomia e o respeito à individualidade das crianças.

Em relação à análise estrutural, em função dos resultados encontrados, conclui-se que torna necessário inserir reforços na estrutura com adição de mais colunas e apoios, quando o projeto arquitetônico indicar a retirada total das chapas laterais do contêiner. Como também, a necessidade de fazer análises específicas para os diferentes arranjos dos módulos para a inserção da estrutura complementar. Em relação à simulação do

desempenho térmico, a edificação alcançou os níveis mínimos de desempenho estabelecidos pela NBR 15.575 (2013/Em: 2021).

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9050**: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. 148p. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 6120**: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 1980.

_____. **NBR 15.220**: Desempenho térmico de edificações. Parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. 2005. 23p.

_____. **NBR 14762**: Dimensionamento de Estruturas de Aço Constituídas por Perfis Formados a Frio. Rio de Janeiro, 2010. 87p.

_____. **NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988. 66p.

_____. **NBR 8800**: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2008. 237p.

_____. **NBR 15.575-1**: Edificações habitacionais – desempenho. 2013. 41p.

_____. **NBR 16.401-1**: Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários. Parte 1: Projetos das instalações. Rio de Janeiro, 2008. BARROS, F.C.O.M. Cadê o brincar? Da educação infantil para o ensino fundamental (online). São Paulo: Editora UNESP; São Paulo: Cultura Acadêmica, 2009. 215p.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, 1988.

BUGES, N. L.; STUMPO, L. F. A.; PORTO, F. H. F. S.; LÓPEZ, V.; ANDREASI, W. A. A eficiência energética de contêiner adaptado como residência nos diversos climas do Brasil. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15., 2014, Maceió. **Anais** [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2014. p. 183-191. DOI: <http://doi.org/10.17012/entac2014.130>.

CONCURSOS DE PROJETOS. Disponível em: https://concursosdeprojeto.org/2010/10/30/concurso_guinebissaupremiados/. Acesso em: 18 ago. 2021.

CTR-IBR. **Comitê Técnico da Educação do Instituto Rui Barbosa**. Disponível em: <https://irbcontas.org.br/deficit-de-vagas-em-educacao-infantil-ainda-permanece/>. Acesso em: 22 mar. 2022.

DOE – U.S DEPARTMENT OF ENERGY. **EnergyPlus Version 9.6.0 Documentation**: Input Output Reference. 2021.

FRANÇA JÚNIOR, A. M. **Análise estrutural de contêineres marítimos utilizados em edificações**. 2017. Dissertação (Mestrado em Construção Metálica) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.

GONÇALVES, R. C. P. **Arquitetura flexível e pedagogia ativa: um (des) encontro nas escolas de espaços abertos**. 2011. Tese (doutorado), Instituto de Educação, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2011.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Direção predominante dos ventos**. Disponível em: https://portal.inmet.gov.br/uploads/normais/VentoDirecaoPredominante_NCB_1961-1990.xls. Acesso em: 22 nov. 2021.

KOWALTOWSKI, D. C. C. K. **Arquitetura escolar: o projeto do ambiente de ensino**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 247p.

LABEEE. **Base padrão de arquivos climáticos**. 2022. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/NBR15575-2020>. Acesso em: jan. 2022.

OLIVEIRA, T. R. S. C.; IMAI, C. Parâmetros de projeto para escolas Waldorf. **Arquitetura Revista**, v. 7, n. 1, 20 jan. 2021.

LENGEN, J. V. **Manual do Arquiteto Descalço**. 5. ed. São Paulo: Empório do Livro, 2008. 707p.

MANUAL PARA APLICAÇÃO DO RTQ-R. Disponível em: https://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/residencial/downloads/Manual_de_aplica%C3%A7%C3%A3o_do_%20RTQ-R-v01.pdf. Acesso em: abr. 2024.

PLANO Nacional de Educação. Disponível em: <https://g1.globo.com/educacao/noticia/um-terco-das-criancas-de-0-a-3-anos-maispobres-do-brasil-estao-fora-da-creche-por-falta-de-vaga-diz-ibge.ghtml>. Acesso em: 16 jun. 2021.

SILVA, F. R.; BRAGA, D. S.; VIEIRA, L. M. F. Infraestrutura das creches e pré-escolas em Belo Horizonte: condições de oferta e distribuição territorial. **Educação Santa Maria**, Santa Maria, RS, v. 46, p. 28, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/1984644442721>.

SILVESTRIN, P. **Método Montessori e Inclusão Escolar**: Articulações Possíveis. 2012. Monografia (Especialização em Educação Especial) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

VIANA, F. S.; SOUZA, H. A.; GOMES, A. P. Residência em contêiner: comparativo de estratégias para a melhoria do desempenho térmico. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 10, p. e019011, mar. 2019. DOI: <https://doi.org/10.20396/parc.v10i0.8652794>.