



Estado do Paraná

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ – UNIOESTE PROGRAMA
DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS - PPGCA**

**ANÁLISE CRÍTICA À APLICAÇÃO DE SELOS DE SUSTENTABILIDADE COMO
ESTRATÉGIA DE REDUÇÃO DE EMISSÕES DE CO₂ NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Michele Cristina Vons

**TOLEDO – PARANÁ
BRASIL – 2024**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ – UNIOESTE PROGRAMA
DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS - PPGCA**

**ANÁLISE CRÍTICA À APLICAÇÃO DE SELOS DE SUSTENTABILIDADE COMO
ESTRATÉGIA DE REDUÇÃO DE EMISSÕES DE CO₂ NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Michele Cristina Vons

Dissertação de Mestrado
apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Ciências Ambientais
da Universidade Estadual do Oeste
do Paraná, Unioeste/*Campus* Toledo,
como parte dos requisitos para a
obtenção do Título de Mestre em
Ciências Ambientais.

Orientador: Dr. Carlos Eduardo Tino
Balestra

Coorientador: Dr. Douglas André
Roesler

Toledo – PR
Dezembro / 2024

FICHA CATALOGRÁFICA

Vons, Michele Cristina

ANÁLISE CRÍTICA À APLICAÇÃO DE SELOS DE SUSTENTABILIDADE
COMO ESTRATÉGIA DE REDUÇÃO DE EMISSÕES DE CO₂ NA CONSTRUÇÃO
CIVIL / Michele Cristina Vons; orientador Dr. Carlos Eduardo
Tino Balestra; coorientador Dr. Douglas André Roesler
Roesler. -- Toledo, 2024.

98 p.

Dissertação (Mestrado Profissional Campus de Toledo) --
Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de
Engenharias e Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em
Ciências Ambientais, 2024.

1. sustentabilidade. 2. Pegada de carbono. 3. Emissão de
CO₂.. 4. Selos de sustentabilidade. I. Balestra, Dr. Carlos
Eduardo Tino , orient. II. Roesler, Dr. Douglas André
Roesler, coorient. III. Título.

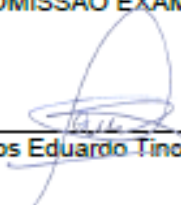
FOLHA DE APROVAÇÃO

Michele Cristina Vons

**“ANÁLISE CRÍTICA À APLICAÇÃO DE SELOS DE SUSTENTABILIDADE COMO
ESTRATÉGIA DE REDUÇÃO DE EMISSÕES DE CO₂ NA CONSTRUÇÃO CIVIL”**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais – Mestrado, do Centro de Engenharias e Ciências Exatas, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais, pela Comissão Examinadora composta pelos membros:

COMISSÃO EXAMINADORA



Prof. Dr. Carlos Eduardo Tino Balestra (Presidente)



Prof. Dr. Maurício Ferreira da Rosa



Prof. Dr. Silmara Dias Feiber



Michele Cristina Vons

Aprovada em: 13 de dezembro de 2024.

Local de defesa: Via remota

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS.....	17
2.1 OBJETIVO GERAL.....	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
2.3 JUSTIFICATIVA E DELIMITAÇÃO DA PESQUISA.....	17
2.3.1 HIPÓTESE.....	17
2.3.2 JUSTIFICATIVA.....	18
3 REVISÃO DA LITERATURA	19
3.1 SELOS DE SUSTENTABILIDADE.....	19
3.2 LEED (<i>LEADERSHIP IN ENERGY AND ENVIRONMENTAL DESIGN</i>).....	19
3.3 AQUA-HQE (ALTA QUALIDADE AMBIENTAL - <i>HAUTE QUALITÉ ENVIRONNEMENTALE</i>)	22
3.4 BREEAM (<i>BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT ENVIRONMENTAL ASSESSMENT METHOD</i>).....	24
3.5 ESTADO DA ARTE: O MERCADO DE SELOS SUSTENTÁVEIS E AS EMISSÕES DE CO ₂	26
3.6 ESTADO DA ARTE SOBRE AS APLICAÇÕES DOS SELOS DE CERTIFICAÇÃO SUSTENTÁVEL EM INSTITUIÇÕES DE ENSINO	31
4 CENTRO DA JUVENTUDE PROFESSOR JOMAR VIEIRA DA ROCHA	34
4.1 POSIÇÃO GEOGRÁFICA DA EDIFICAÇÃO NO LOTE	36
4.2 SISTEMA HIDRÁULICO	37
4.3 ILUMINAÇÃO ZENITAL.....	38
4.4 VENTILAÇÃO	40
4.5 INSOLAÇÃO.....	41
4.6 ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL	41
4.7 ÁREA PERMEÁVEL	42
4.8 ACESSIBILIDADE	43
5 METODOLOGIA DA PESQUISA.....	46
5.1 ANÁLISE CRÍTICA AQUA <i>EDUCATION</i> E LEED <i>SCHOOLS</i>	46
5.2 CRITÉRIOS DE ANÁLISE DA INFRAESTRUTURA.....	47
5.2.1 AVALIAÇÃO CONFORTO LUMÍNICO NATURAL	48
5.2.2 AVALIAÇÃO DA VENTILAÇÃO IDEAL.....	50
5.2.3 DESEMPENHO ACÚSTICO	52

5.3 ANÁLISE EMISSÕES CO ₂	56
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	60
6.1 ANÁLISE CRÍTICA DOS SELOS AQUA-HQE <i>EDUCATION</i> E LEED <i>SCHOOLS</i>	59
6.1.1 GESTÃO DE ENERGIA	59
6.1.2 GESTÃO DA ÁGUA.....	61
6.1.3 QUALIDADE DO AMBIENTE INTERNO	63
6.1.4 CONFORTO HIGROTÉRMICO	65
6.2 ANÁLISE CRÍTICA DAS CERTIFICAÇÕES LEED, AQUA E BREEAM E A REALIDADE BRASILEIRA, MATERIAIS E MÉTODOS CONSTRUTIVOS	67
6.3 A ANÁLISE DO CENTRO EDUCACIONAL EM RELAÇÃO AOS CRITÉRIOS DE SUSTENTABILIDADE	71
6.4 QUANTITATIVO - EMISSÕES DE CO ₂ CENTRO DA JUVENTUDE	73
7 CONCLUSÃO	81
REFERÊNCIAS.....	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais critérios da categoria LEED <i>for School</i> e pontuações máximas	20
Tabela 2 - Categorias de avaliação AQUA de edifícios de ensino	22
Tabela 3 - Critérios de certificação do selo BREEAM	24
Tabela 4 - Fatores de conversão dos principais materiais utilizados na análise segundo Costa (2012).....	28
Tabela 5 - Emissões CO ₂ por Kg, referente ao processo produtivo dos materiais de construção.....	29
Tabela 6 - Emissões de CO ₂ <i>light wood frame</i>	31
Tabela 7 - Lei de Uso de Solo-Cascavel/PR	42
Tabela 8 - Normas inclinação de rampa NBR9050 (2020).....	44
Tabela 9 - Iluminância de interiores	52
Tabela 10 - Valores dos níveis para conforto acústico dB(A).....	53
Tabela 11 - Fatores de conversão dos principais materiais utilizados na análise segundo Costa (2012).....	59
Tabela 12 - Gestão de Energia	61
Tabela 13 - Gestão da água de AQUA <i>education</i> x LEED <i>school</i>	63
Tabela 14 - Item do LEED que se relaciona com a subcategorias do AQUA na categoria de qualidade do ar	64
Tabela 15 - Conforto do ambiente interno entre Aqua Education x LEED Schools...	66
Tabela 16 -Levantamento de viabilidade das certificações LEED, AQUA e BREEAM para a realidade brasileira	72
Tabela 17 - Índices de iluminância, ruído e ventilação recomendados	74
Tabela 18 - Quantitativo tonelada de materiais.....	77
Tabela 19 - Quantitativo de materiais e emissão de CO ₂ em alvenaria convencional	78
Tabela 20- Quantitativo de materiais e emissão de CO ₂ em <i>Light Steel Frame</i>	79
Tabela 21- Quantitativo de materiais e emissão de CO ₂ em <i>Light wood frame</i>	80

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Projeto escola Cruzeiro, selo LEED.....	21
Figura 2 - Colégio Positivo Internacional, com certificação AQUA-HQE.....	23
Figura 3 - <i>Livensa Living</i> , com certificação BREEAM.....	25
Figura 4 – Centro da Juventude Professor Jomar Vieira.....	35
Figura 5 - Reconhecimento selo SESI OSD, 2021.....	36
Figura 6 - Imagem satélite Centro da Juventude	37
Figura 7- Torneiras Banheiro Masculino e Feminino (CJ) com acionamento automático	38
Figura 8 - Claraboia (a) Claraboia na circulação; (b) claraboia nos banheiros	39
Figura 9 – Fachadas e planta baixa.....	40
Figura 10 - Sala de dança (a), sala de karatê (b)	41
Figura 11 – Disposição aerodinâmica da fachada, aproveitamento do sol.....	42
Figura 12 – Lâmpadas de LED - Sala de aula (a), sala de dança (b).....	43
Figura 13 - Paver em toda extensão do estacionamento.....	44
Figura 14 - Rampa PNE (a); rampa de acesso de carros (b)	45
Figura 15 - Banheiro PNE externo (a); banheiro PNE interno (b)	46
Figura 16 - Medição com luxímetro, decibelímetro, anemômetro, termo-higrômetro da marca Akso	47
Figura 17 – Luxímetro AK305.....	48
Figura 18 – Anemômetro AK821.....	50
Figura 19 – Decibelímetro AK823.....	52
Figura 20 - Termo-higrômetro AK632 utilizado para a medição de temperatura e umidade relativa do ar.....	54
Figura 21 - Planta baixa CJ	57
Figura 22 - Fachada frontal (a); fachada posterior (b)	76

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

AIE - Agência Internacional de Energia

AQUA - Alta Qualidade Ambiental

BEM - Balanço Energético Nacional

BREEAM - *Building Research Establishment Environmental Assessment Method*

CICE - Comissão Interna de Conservação de Energia

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

CTE - Centro de Tecnologias em Edificações

EPE - Empresa de Pesquisa Energética

FSC - *Forest Stewardship Council*

GEE - Gases de Efeito Estufa

HQE - *Haute Qualité Environnementale*

IEA - *International Energy Agency*

LEED - *Leadership in Energy and Environmental Design*

NBR - Norma Brasileira Registrada

ODS - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

OMS - Organização Mundial da Saúde

PME - Programa de Mobilização Energética

PNAD - Pesquisa Nacional por Amostras de Domicílio

Procel - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

USGBC - *United States Green Building Council*

Vons, Michele Cristina. **ANÁLISE CRÍTICA À APLICAÇÃO DE SELOS DE SUSTENTABILIDADE COMO ESTRATÉGIA DE REDUÇÃO DE EMISSÕES DE CO₂ NA CONSTRUÇÃO CIVIL**. Orientador: Dr. Carlos Eduardo Tino Balestra. Coorientador: Dr. Douglas André Roesler. 2024. 98 f. - Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2024.

RESUMO

Devido aos altos índices de desperdício de materiais de construção, além do consumo significativo de energia na indústria da construção, a sustentabilidade tem recebido atenção nesse setor. A criação de organismos certificadores e avaliadores de desempenho sustentável nos projetos, obras e revitalizações tem como objetivo orientar ações que reduzam o impacto ambiental, social e econômico. No Brasil, merecem destaque a atuação de sistemas de certificação internacional, como LEED, AQUA-HQE e BREEAM. Essas certificações, embora reconhecidas internacionalmente, não estão adaptadas à realidade brasileira. Isso ocorre devido às diferenças nos métodos construtivos, condições climáticas, materiais de construção e gestão operacional utilizados no Brasil, em comparação com a realidade da construção civil na América do Norte e Europa. Diante desse contexto, os Centros da Juventude são espaços públicos destinados ao desenvolvimento de jovens em que as estratégias de sustentabilidade na construção civil, aplicadas a esses locais, podem fomentar a conscientização desse público para essa problemática. Assim, a metodologia adotada neste estudo consiste em uma análise quali-quantitativa do Centro da Juventude da cidade de Cascavel-PR, efetivada por meio de uma avaliação da qualidade da obra e observância quanto aos aspectos que buscam sua certificação nos diferentes sistemas analisados. Para isso, dados sobre o público atendido, atividades desenvolvidas e infraestrutura foram levantados por meio de visitas e consulta a documentos. Na sequência, efetiva-se um estudo crítico sobre a aplicação dos requisitos definidos nos respectivos selos de sustentabilidade para escolas, a fim de verificar se esses requisitos remetem à realidade brasileira ou quais são as necessidades de adaptação; nesse sentido, busca-se verificar quais mudanças devem ser realizadas no Centro da Juventude para caracterizá-lo como um edifício sustentável, em vistas de propor soluções, tornando-o um exemplo de construção educacional sustentável e de adaptação dos selos internacionais para a realidade nacional. Por fim, uma análise quantitativa, a respeito das emissões de CO₂, a partir dos principais materiais de construção utilizados no Centro da Juventude, foi realizada. Pode-se concluir que o sistema *Wood Frame*, que utiliza a madeira como material principal, apresenta menor impacto ambiental, evidenciando emissões reduzidas, especialmente quando se considera o sequestro de carbono proporcionado pela madeira certificada (FSC). Nesse contexto, o *Wood Frame* destaca-se como a opção sustentável em termos de emissões de CO₂, empregando madeira tanto na estrutura quanto nas vedações. Ambos os sistemas, *Steel Frame* e *Wood Frame*, beneficiam-se da pré-fabricação, que contribui significativamente para a redução do desperdício de materiais durante a construção. Em virtude do uso intensivo de cimento e concreto, além de agregados como areia e brita, que são recursos naturais não renováveis. Essa análise desmistifica a percepção de que a obra objeto do estudo seja uma construção sustentável, uma vez que sua estrutura é fundamentada na alvenaria tradicional.

PALAVRAS-CHAVE: Selo de sustentabilidade. Pegada de carbono. Centro da Juventude. LEED. AQUA-HQE. BREEAM. Sustentabilidade. Emissão de CO₂.

Vons, Michele Cristina. **CRITICAL ANALYSIS OF THE APPLICATION OF SUSTAINABILITY CERTIFICATIONS AS A STRATEGY FOR REDUCING CO₂ EMISSIONS IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY**. Advisor: Dr. Carlos Eduardo Tino Balestra. Co-advisor: Dr. Douglas André Roesler. 2024. 98 pages. - Dissertation (Master's in Environmental Sciences) – Graduate Program in Environmental Sciences at the State University of Western Paraná, Toledo, 2024.

ABSTRACT

Due to the high rates of construction material waste, along with significant energy consumption in the construction industry, sustainability has gained attention in this sector. The creation of certifying bodies and sustainable performance evaluators for projects, buildings, and renovations aims to guide actions that reduce environmental, social, and economic impacts. In Brazil, international certification systems such as LEED, AQUA-HQE, and BREEAM stand out. However, despite being internationally recognized, these certifications are not adapted to the Brazilian reality. This occurs due to differences in construction methods, climatic conditions, building materials, and operational management used in Brazil compared to construction practices in North America and Europe. In this context, Youth Centers are public spaces aimed at youth development, where the application of sustainability strategies in civil construction can foster awareness of this issue among young people. Thus, the methodology adopted in this study consists of a qualitative and quantitative analysis of the Youth Center in the city of Cascavel-PR, conducted through an evaluation of the building's quality and adherence to aspects required for certification in the various systems analyzed. Data on the target audience, activities, and infrastructure were gathered through visits and document consultation. Following this, a critical study was conducted on the application of the sustainability seal requirements for schools, in order to verify whether these requirements fit the Brazilian reality or identify necessary adaptations. The goal was to determine the changes needed in the Youth Center to classify it as a sustainable building and propose solutions to make it an example of sustainable educational construction and the adaptation of international seals to the national context. Finally, a quantitative analysis of emissions, based on the primary construction materials used in the Youth Center, was carried out. The research results showed that the comparison between traditional masonry, Steel Frame, and Wood Frame construction methods reveals significant differences in carbon dioxide CO₂ emissions. Studies indicate that the Steel Frame system emits less CO₂ compared to traditional masonry, due to the reduced use of heavy materials and the use of galvanized steel, which, despite having a considerable carbon footprint during production, results in a lighter and more efficient structure. On the other hand, Wood Frame, which primarily uses wood, also shows reduced emissions, especially when considering the carbon sequestration provided by the wood during its growth. Therefore, in terms of CO₂ emissions, the Steel Frame stands out as the most sustainable option, followed by the Wood Frame, while traditional masonry tends to generate the highest emissions, mainly due to the intensive use of cement and concrete in its construction. This demystifies the notion that the case study building is sustainable, as its structure is made of traditional masonry.

KEYWORDS: Sustainability seal. Carbon footprint. Youth Center. LEED. AQUA-HQE. BREEAM. Sustainability. CO₂ emissions.

1 INTRODUÇÃO

Ao longo da história, a intervenção humana na natureza gerou diversos problemas ambientais, destacando-se, durante a Revolução Industrial, momento em que foi consideravelmente deteriorada. A partir desse período, a emissão de substâncias prejudiciais, como monóxido e dióxido de carbono, provenientes de processos industriais, intensificou-se, contribuindo para a degradação contínua da qualidade do ar (Silveira, 2021).

O Brasil foi classificado como um dos maiores poluidores do mundo em termos de emissões acumuladas de dióxido de carbono CO_2 , de forma que o desmatamento é um fator importante para a liberação desse gás que agrava os problemas decorrentes do efeito estufa. O Brasil figura em quarto lugar no ranking de emissões desde 1850, sendo a China a maior emissora de gases de efeito estufa (GEE) acumulados na história; já os Estados Unidos, ocupam o segundo lugar no ranking das emissões (*Intergovernmental Panel Climate Change*, 2021).

Ao longo da última década, foi notável o aumento substancial nas emissões globais de GEE, que atingiu um nível alarmante de 59 gigatoneladas de dióxido de carbono equivalente (GtCO_2e) emitidas no ano de 2019. Essas emissões de CO_2 influenciam o aquecimento global, que tem, como resultado, uma série de impactos adversos, tais como a intensificação de eventos climáticos extremos, tempestades mais severas e frequentes, o aumento do nível do mar e o derretimento das calotas polares, entre outros (*International Energy Agency*, 2019). Nessa perspectiva, as atividades de construção e uso das edificações contribuem com aproximadamente 38% das emissões globais de CO_2 , sendo que aproximadamente $\frac{1}{4}$ dessas emissões vêm apenas da fabricação do cimento Portland (Associação Brasileira de Cimento Portland, 2020).

A construção civil não apenas é responsável por emissões significativas de CO_2 , mas também se destaca por seu elevado consumo de recursos naturais e pela geração considerável de resíduos sólidos. Nesse contexto, a indústria da construção consome mais de 75% dos recursos naturais em suas operações, devido ao uso variado de insumos, como areia, pedra britada, calcário, argila, madeira, derivados do petróleo (plásticos e materiais betuminosos), entre outros. De acordo com informações fornecidas pelo *International Energy Agency*, a construção civil configura-se como uma indústria essencialmente extrativista, altamente dependente de recursos

naturais, além de ser responsável pela geração de aproximadamente 80 milhões de toneladas de resíduos anualmente (IEA, 2019).

A indústria da construção civil no Brasil desempenha um papel de extrema relevância na geração de resíduos, com um volume anual de 31 milhões de toneladas, o que representa aproximadamente 38% do total de resíduos produzidos em todo o país a cada ano. Essa considerável quantidade de resíduos é proveniente, em grande parte, de atividades de construção e demolição, que incluem setores informais, como pequenas reformas e ampliações, engloba uma variedade de materiais e abarca os derivados do cimento, como concretos e argamassas, assim como materiais cerâmicos, entre outros (Conselho Brasileiro de Construção Sustentável, 2020).

No cenário observado em 2020, as condições operacionais conduziram a índices nacionais de reciclagem estabelecidos em 12%. Essa constatação instaura uma necessidade de implementar medidas eficazes e estratégias de gestão voltadas para a redução, reutilização e reciclagem dos resíduos gerados pela indústria da construção civil. Tais medidas não somente concorreriam para a atenuação dos impactos ambientais adversos, mas também contribuiriam substancialmente para a promoção de uma indústria da construção mais sustentável e engajada na preservação do meio ambiente (ABRECON, 2020).

Nesse ponto, há de se considerar que a indústria da construção civil apresenta significativa resistência quanto à aceitação de novas tecnologias voltadas para a preservação de recursos, visto que apresentam alto valor de mercado, ou seja, métodos construtivos arcaicos geradores de significativa quantidade de resíduos são comumente utilizados até hoje. Um exemplo desse modelo ultrapassado são as construções em alvenaria convencional, que geram até 20% de desperdício em termos de materiais e, muitas vezes, não apresentam inovações tecnológicas para mitigar impactos sobre o meio ambiente durante a própria realização da edificação (ABREMA, 2023).

Mediante esse contexto, Nagalli (2015) propõe estratégias de gerenciamento de resíduos em duas linhas: a prevenção qualitativa e quantitativa. A primeira envolve selecionar materiais duráveis e recicláveis, como alternativas econômicas e ambientais. A segunda trata de adotar processos construtivos racionais e industrializados, como paredes em alvenaria autoportante com blocos estruturais para reduzir a geração de resíduos diretamente no canteiro de obras. A prevenção quantitativa, baseada no conceito de Construção Enxuta (*Lean Construction*), reduz

significativamente a quantidade de resíduos, promovendo eficiência na obra.

Independentemente das estratégias e sua eficácia, é consensual que os impactos decorrentes das atividades humanas, abrangendo além da construção civil, têm sido motivo de preocupação e debate em diversos fóruns nas últimas décadas. Isso destaca a complexidade do problema ambiental vinculado a esses impactos. Em uma perspectiva cronológica, importantes eventos incluem a Conferência de Viena (1985) e o Protocolo de Montreal (1987), ambos focados em medidas de proteção à Camada de Ozônio; o relatório de *Brundtland* (1987), que introduziu e difundiu conceitos de desenvolvimento sustentável; a Eco-92 (1992) no Rio de Janeiro, que resultou na Agenda 21, com diretrizes para o desenvolvimento sustentável; o Protocolo de Kyoto (1997), que estabeleceu metas específicas para a redução global de emissões de CO₂; o Acordo de Paris (2015), com metas para limitar o aquecimento global; a definição dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável pela cúpula da ONU em 2015; e, mais recentemente, a Conferência do Clima em 2022, para a aquisição de fundos para ações, que visem mitigar o aquecimento global (ONU, 2015).

Mediante o exposto, torna-se notória a necessidade de refletir sobre a adoção de políticas na construção civil, orientada para reduzir seus impactos sobre o meio ambiente, não apenas em consideração à fase de execução da obra em si, mas também durante a sua fase de utilização/operação. Nesse ponto, diferentes sistemas de avaliação de desempenho ambiental e sustentabilidade em edificações foram criados para impulsionar essa necessidade, conhecidos comumente como selos de certificação de sustentabilidade. Destacam-se, por sua vez, os selos *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED), desenvolvido nos Estados Unidos da América, o selo britânico *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* (BREEAM) e o selo francês *Haute Qualité Environnementale* (HQE), que, no Brasil, foi adaptado pela Fundação Vanzolini em parceria com a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo e ficou conhecido como AQUA (Alta Qualidade Ambiental). Esses selos foram desenvolvidos com o objetivo de certificar tanto o processo construtivo quanto o de uso das edificações, além de promover a verificação acerca da capacidade de reduzir os impactos sobre o meio ambiente.

Embora esses selos sustentáveis sejam amplamente reconhecidos a nível mundial, sua origem foi estabelecida em países com condições climáticas, recursos naturais e métodos construtivos diferentes da realidade brasileira. Esse cenário distinto pode gerar dúvidas sobre se realmente as construções brasileiras têm adotado

padrões realistas quanto à minimização de seus impactos. Dessa forma, a presente dissertação aborda, em primeiro lugar, uma análise crítica a respeito dos diferentes selos de sustentabilidade para a realidade da construção civil do Brasil.

Por fim, este estudo também tem como objetivo avaliar a relação entre os selos de sustentabilidade LEED, AQUA-HQE e BREEAM, além da poluição gerada pelos métodos construtivos e materiais associados, com foco específico em relação à quantificação equivalente da emissão de Dióxido de Carbono CO₂ dos principais materiais de construção utilizados no Centro da Juventude Jomar Vieira Rocha. Essa abordagem permite uma compreensão mais aprofundada da eficácia dos selos de sustentabilidade na promoção de práticas construtivas mais sustentáveis e na mitigação da pegada de carbono no setor da construção civil, tanto em âmbito internacional quanto no contexto específico do Brasil.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Esta pesquisa se propõe a conduzir uma análise crítica acerca da sustentabilidade aplicável às edificações de centros educacionais, por meio da análise da aplicabilidade de selos sustentáveis, dos materiais e métodos construtivos, uma vez que os centros educacionais podem ser uma estratégia de conscientização pública quanto à adoção de conceitos e práticas sustentáveis no âmbito de suas construções.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Conduzir uma análise crítica sobre os critérios e indicadores das certificações LEED, AQUA-HQE e BREEAM aplicáveis a centros educacionais, verificando se remetem à realidade da construção na região oeste do estado do Paraná.
- Verificar se a edificação do Centro da Juventude Jomar Vieira Rocha, utilizado como referência neste trabalho, atende efetivamente a critérios de sustentabilidade e quais parâmetros, no contexto térmico, acústico e lumínico, podem ser melhorados.
- Conduzir uma avaliação a respeito das emissões de CO₂ referentes aos principais materiais de construção civil utilizados na obra do referido Centro da Juventude, avaliando se uma mudança nos materiais e métodos construtivos utilizados acarretaria mitigação na emissão de CO₂.

2.3 JUSTIFICATIVA E DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

2.3.1 HIPÓTESE

A avaliação da viabilidade dos métodos dos selos de certificações ambientais internacionais, como LEED, AQUA-HQE e BREEAM, em âmbito nacional é de suma importância para a sua aplicação. No entanto, é necessário considerar as características específicas da realidade brasileira, como o clima, a cultura, a legislação, métodos construtivos, materiais e a disponibilidade de recursos. Esses

fatores podem influenciar a aplicabilidade direta dos critérios dos selos de certificação e ocasionar possíveis equívocos de interpretação quanto à sustentabilidade de uma edificação.

2.3.2 JUSTIFICATIVA

A sustentabilidade é um tópico fundamental atualmente, considerando os desafios ambientais e sociais complexos que enfrentamos. As certificações ambientais, como LEED, AQUA-HQE e BREEAM, têm o objetivo de orientar e reconhecer práticas sustentáveis na arquitetura e construção de edificações. Esses selos incentivam projetos que promovem eficiência energética, uso responsável dos recursos naturais e menor impacto ambiental.

Ao integrar os princípios dessas certificações, espera-se criar espaços saudáveis, além de contribuir para a formação de uma geração que valorize e promova a sustentabilidade. No entanto, esta dissertação busca demonstrar que, apesar dessas certificações, as construções ainda continuam emitindo gases efeito estufa (GEE), questionando, assim, a real sustentabilidade dessas práticas.

Em suma, esta dissertação aborda sobre a interseção entre as certificações de construções sustentáveis e a análise das emissões de CO₂. Ao conectar as certificações ambientais internacionais com a análise da poluição gerada, o estudo fornece informações para aprimorar as políticas e práticas sustentáveis, sobretudo no âmbito de obras públicas, destinadas ao desenvolvimento de jovens.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 SELOS DE SUSTENTABILIDADE

Para um melhor entendimento deste trabalho, é necessário contextualizar os selos de sustentabilidade na construção civil, nomeadamente o LEED, BREEAM e AQUA, de maneira que são apresentadas as características específicas desses selos, com ênfase nas edificações educacionais, uma vez que constituem o foco desta pesquisa.

3.2 LEED (*LEADERSHIP IN ENERGY AND ENVIRONMENTAL DESIGN*)

O selo LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) representa um padrão reconhecido globalmente para o design, construção e operação de edifícios verdes de alto desempenho. O selo surgiu nos Estados Unidos, criado em 2000 pelo *United States Green Building Council* (USGBC). O LEED é uma ferramenta de certificação que visa incentivar e acelerar a adoção de práticas de construção sustentável, promovendo a construção de edifícios verdes que sejam saudáveis, eficazes; dessa forma, destaca-se entre os sistemas de avaliação global de construções sustentáveis, o qual é reconhecido por sua facilidade de aplicação no mercado da construção. Ao contrário de sistemas mais detalhados, o LEED simplifica a comunicação ao apresentar um único número, representando a pontuação total acumulada na avaliação do *United States Green Building Council* (USGBC, 2022).

Segundo o USGBC (USGBC, 2024), o *ranking* atual dos dez países e regiões fora dos EUA, com maior área certificada pelo sistema LEED de edifícios sustentáveis, é uma lista que reconhece o uso do LEED para criar espaços mais saudáveis, economizar energia, água e recursos financeiros, bem como reduzir emissões de carbono.

O processo de certificação LEED inicia-se com o registro do projeto no USGBC, seguido pelo pagamento de uma taxa. A equipe de construção trabalha para atender aos requisitos e acumular pontos por práticas sustentáveis. Após atender aos critérios e alcançar a pontuação necessária, o edifício pode solicitar a certificação, sujeitando-se à análise detalhada do USGBC. A certificação é válida por cerca de cinco anos, sendo necessário um processo de recertificação para manter o status certificado. O

USGBC cobra uma taxa de registro, que varia de US\$ 900 a US\$ 1.200, e uma taxa de certificação, de US\$ 2.700 a US\$34.000 dólares, dependendo do tamanho do edifício e do nível de certificação desejado (Ugreen, 2024).

A certificação no sistema LEED abrange quatro tipologias principais: Novas Construções e Grandes Reformas (LEED BD+C), Escritórios Comerciais e Lojas de Varejo (LEED ID+C), Empreendimentos Existentes (LEED O+M) e Bairros (LEED OD). Além dessas tipologias, existem certificações especializadas, como *LEED for Schools*, *LEED for Homes*, *LEED for Healthcare*, entre outras, cada uma com requisitos específicos e sistema de pontuação adaptado às necessidades do edifício ou projeto em questão (GBC Brasil, 2019).

Na certificação *LEED for Schools*, examinadores avaliam sete categorias abrangendo critérios fundamentais de sustentabilidade: Eficiência hídrica, energia e atmosfera, qualidade ambiental interna, inovação e créditos prioritários regionais, além de materiais e recursos que são foco de estudo desta pesquisa. Essa certificação é aplicável a instituições educacionais desde creches até ensino superior. A Tabela 1 detalha os pré-requisitos e créditos associados com as cinco principais categorias do *LEED for Schools* (USGBC, 2023).

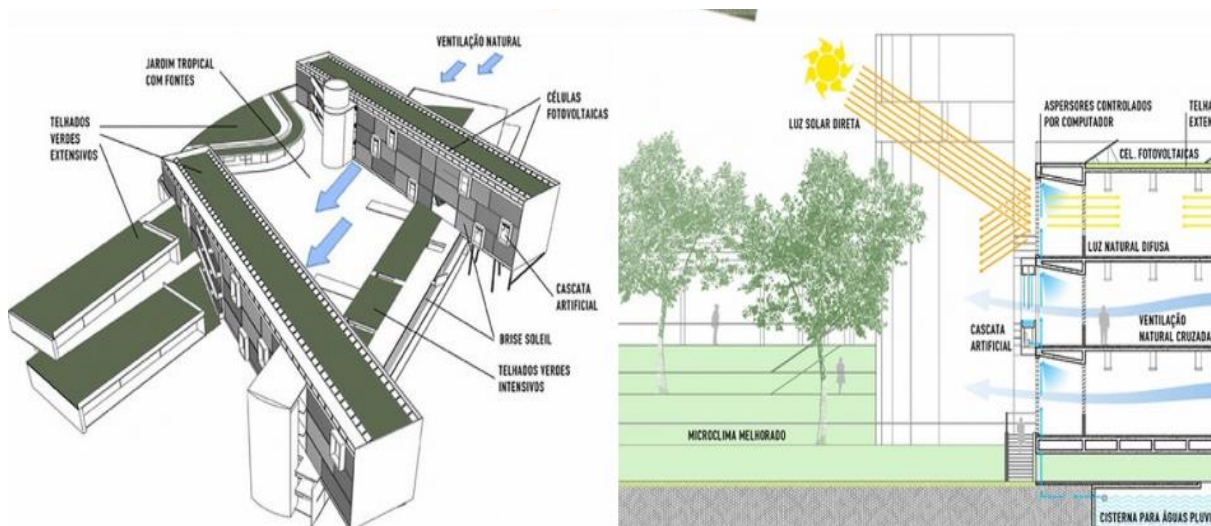
Tabela 1 - Principais critérios da categoria *LEED for School*

Item	Descrição
Espaços sustentáveis	Avaliação quanto ao impacto da implantação da edificação
Uso eficiente da água	Incentivo à busca por alternativas para redução do consumo de água potável
Energia e Atmosfera	Uso de recursos, qualidade do ar interno e práticas ambientalmente responsáveis.
Materiais e Recursos	Avalia a seleção, uso eficiente e reciclagem de materiais de construção, incentivando práticas como a redução do desperdício
Qualidade do ambiente	Avaliar estratégias que asseguram um espaço saudável

Fonte: *Leed Green Associate*, adaptado pela autora, 2023.

O programa LEED *for Schools* tem se destacado no Brasil, com o exemplo do Colégio Cruzeiro, localizado no Rio de Janeiro. As novas instalações deste Colégio Cruzeiro, projetadas para abrigar alunos de 12 a 17 anos, são compostas por um prédio de acesso/administração, salas de aula, nas alas sul e norte, e demais ambientes de apoio. Nesse projeto, os princípios da arquitetura moderna foram adaptados à linguagem contemporânea das edificações. Na Figura 1, observam-se fachadas protegidas por *brises*, pilotis e terraços-jardins e pátio interno, que são referências da arquitetura moderna, aliadas aos conceitos do sistema de Avaliação de Prédios Verdes (*Green Building Rating System*) do LEED, o qual atende às normas de conforto térmico, acústico e lumínico (GBC Brasil, 2023).

Figura 1 - Projeto escola Cruzeiro, selo LEED



Fonte: Basesete, 2023.

No entanto, é necessário questionar se o projeto com *pilotis* e *brises* de aço, placas cimentícias, cobertura e fundações em concreto, além de revestimento térmico e acústico em poliuretano, pode ser considerado sustentável, diante da complexidade envolvida na avaliação da sustentabilidade de um empreendimento. Embora o sistema construtivo em *steel frame* possa atender a diversos requisitos da certificação LEED, como eficiência energética, redução de resíduos e flexibilidade para modificações, é importante analisar de forma mais abrangente o impacto dos materiais utilizados.

3.3 AQUA-HQE (ALTA QUALIDADE AMBIENTAL - HAUTE QUALITÉ ENVIRONNEMENTALE)

A certificação selo sustentável AQUA-HQE foi desenvolvida na França pela *Demarché HQE* (entidade de certificação habitacional francesa) em 1974. No Brasil, sua implantação foi em 2008, quando a Fundação Vanzolini, instituição privada sem fins lucrativos, foi a responsável pela implantação do processo de certificação AQUA (Poli-USP, 2023).

Os custos para certificar uma obra com o selo AQUA-HQE podem variar significativamente, mas, em geral, estima-se que o custo adicional para a certificação ambiental de edifícios fique entre 3% a 10% do valor total da obra. Esse custo adicional pode incluir despesas com consultoria, modelagem energética, além de outros serviços necessários para atender aos requisitos da certificação (Fundação Vanzolini, 2023).

Os critérios avaliados para a pontuação no AQUA-HQE Edifícios de Ensino são variáveis de acordo com a versão específica do sistema, já que é atualizado periodicamente para incorporar novas práticas e normas ambientais. No entanto, os principais critérios considerados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Categorias de avaliação AQUA de edifícios de ensino

Ítem	Descrição
Energia	Categoria: energia
Ambiente	Categoria: Sistemas Construtivos Categoria: água Categoria: resíduos Categoria: Manutenção
Saúde	Categoria: Qualidade dos Espaços Categoria: Qualidade do Ar Categoria: Qualidade da Água
Conforto	Categoria: Conforto Higrotérmico Categoria: Conforto Acústico

Fonte: Fundação Vanzolini, 2023, adaptado pela autora.

Em relação à categoria ambiente, a pesquisa teve como objetivo identificar os sistemas construtivos utilizados e os materiais, considerando a seleção de insumos de baixo impacto ambiental. Essa abordagem permite uma compreensão da relação entre práticas construtivas e sustentabilidade, com foco nas emissões de dióxido de carbono CO₂ .

Localizado em Curitiba, Brasil, o Colégio Positivo Internacional destaca-se como um exemplo de edificação educacional sustentável, certificado pelo selo AQUA-HQE. Essa instituição segue como um modelo por conta de sua eficiência energética, visto que os painéis de vedação utilizados no projeto permitem a conexão visual com os espaços externos, ao mesmo tempo em que maximizam a ventilação e a iluminação natural, potencializada pelo sistema zenital do jardim interno (Archdaily, 2023).

A obra, de acordo com a Figura 2, organiza-se por meio de um monobloco linear, com estrutura em concreto, onde estão alocadas as salas de aula e laboratórios e um volume irregular, em estrutura metálica, que abriga as "funções singulares", como biblioteca e administração. O pátio coberto com forro em PVC e estrutura metálica é o elemento principal, articulador dos setores e o grande espaço de convívio dos alunos. Essa configuração espacial evidencia a dualidade entre a funcionalidade estrutural e a sustentabilidade, mas suscita questionamentos sobre a real sustentabilidade de seus materiais (Archdaily, 2023).

Figura 2 - Colégio Positivo Internacional, com certificação AQUA-HQE



Fonte: Archdaily, 2023.

3.4 BREEAM (*BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT ENVIRONMENTAL ASSESSMENT METHOD*)

Segundo a Inovatech (2019), o selo BREEAM é um método de avaliação e certificação da sustentabilidade de edifícios que foi desenvolvido no Reino Unido em 1988. Esse sistema de certificação utiliza critérios específicos para avaliar o desempenho ambiental de um edifício em várias categorias, conforme apresentado a seguir na Tabela 3.

Tabela 3 - Critérios de certificação do selo BREEAM	
Item	Descrição
Energia	Eficiência energética Fontes Renováveis Monitoraamento e Gestão
Saúde e Bem-estar	Qualidade do ar interno Iluminação natural Conforto térmico e acústico
Materiais e resíduos	Eficiência Gestão de resíduos Descarte

Fonte: BREEAM, 2023, adaptado pela autora

Esse sistema de certificação se divide em 4 categorias principais: BREEAM *New Construction* (Nova Construção), BREEAM *In Use* (Em Uso), BREEAM *Refurbishment* (Reabilitação), BREEAM *Communities* (Comunidades). O primeiro avalia a sustentabilidade de novos edifícios nas fases de projeto e de execução da obra, o qual pode ser utilizado para avaliar os novos edifícios comerciais, como escritórios, comércio, indústrias e edifícios residenciais. O segundo pretende reduzir os custos de operação e melhorar o desempenho ambiental dos edifícios não residenciais já existentes (BREEAM, 2014).

A certificação envolve um processo detalhado de avaliação da sustentabilidade de edifícios, que requer a nomeação de um avaliador credenciado pela BRE Global e o registro do projeto no sistema BREEAM. Os custos de certificação variam de 0,1% a 1% do custo total da construção, dependendo de fatores, como tamanho e complexidade do projeto, estágio de certificação, nível, honorários da equipe e taxas do BRE (Ugreen, 2024).

O selo não disponibiliza uma certificação específica destinada a edifícios educacionais; a obra que mais se assemelha com o estudo de caso é um alojamento estudantil *Livensa Living*, em que as pontuações e níveis de classificação são apresentados, na Península Ibérica, como está representado na Figura 3. Esse reconhecimento é conferido após a verificação rigorosa do atendimento às medidas focadas no bem-estar dos residentes, que incorpora o controle individual de iluminação, ventilação e temperatura nos quartos. Cada edifício da *Livensa Living* proporciona espaços comuns internos e externos especialmente adaptados para atividades de lazer, estudo e prática esportiva, acessíveis a qualquer momento e inclusivos para pessoas com mobilidade reduzida. As considerações abrangentes englobam o acesso a serviços essenciais, áreas para pedestres e o transporte público, para assegurar o conforto integral dos residentes (Construir, 2023).

Figura 3 - Livensa Living, com certificação BREEAM



Fonte: Construir, 2023.

O edifício atende aos requisitos para a obtenção do selo BREEAM, no entanto, a sua estrutura é predominantemente em concreto, com pilotis em *steel frame*. A cobertura apresenta apenas 3% de áreas verdes, e o piso não é drenante, o que pode comprometer a gestão de águas pluviais. Os detalhes são feitos em aço corten, enquanto o uso de granito e pedras naturais implica o uso de recursos naturais.

Embora a obra demonstre preocupação com o bem-estar dos estudantes, a utilização de materiais poluentes na construção como o concreto, que emitem gases de efeito estufa (GEE), levanta questões sobre a verdadeira sustentabilidade da edificação. Portanto, é necessário avaliar de forma crítica a compatibilidade entre os objetivos do projeto e os impactos ambientais gerados pelos materiais usados.

3.5 ESTADO DA ARTE: O MERCADO DE SELOS SUSTENTÁVEIS E AS EMISSÕES DE CO₂

De acordo com Young e Tilley (2006), a crescente demanda do mercado por empreendimentos sustentáveis reflete uma mudança significativa nas prioridades de investidores e consumidores. Embora o investimento inicial em construções sustentáveis seja frequentemente mais elevado do que em edificações tradicionais, os benefícios, a longo prazo, como a redução do consumo de energia e água, compensam esses custos. Essas certificações não apenas atestam a sustentabilidade das construções, mas também aumentam seu valor de mercado, atraindo investidores que priorizam a responsabilidade ambiental. Assim, a certificação ambiental configura-se como um importante diferencial competitivo, promovendo práticas construtivas mais responsáveis e alinhadas com as demandas contemporâneas de sustentabilidade.

A certificação de empreendimentos e empresas por meio de estratégias de marketing voltadas para o desenvolvimento sustentável transforma a demanda por selos de sustentabilidade em um mercado comercial lucrativo. Em termos ambientais, destacam-se práticas, como o uso racional de recursos naturais, a redução do consumo de água e energia, a implantação consciente de projetos, a mitigação dos impactos das mudanças climáticas, o tratamento eficaz dos resíduos gerados durante a construção e a operação das edificações. Essas práticas de certificação promovem melhorias contínuas e inovações em edificações sustentáveis e economicamente viáveis. Contudo, essa dinâmica também se revela vantajosa para as empresas, que valorizam seus imóveis ao obter esses selos de sustentabilidade (Mercado Construção, 2019).

A crescente valorização de imóveis com selos de sustentabilidade, como LEED, AQUA-HQE e BREEAM, não apenas reflete uma mudança nas preferências dos consumidores, mas também se transformou em um mercado lucrativo. A demanda por esses selos tem aumentado, levando a uma valorização de até 7% em comparação às construções convencionais (Mercado Construção, 2019).

Embora as certificações ambientais na construção busquem promover práticas de construção mais sustentáveis. Isso levanta questionamentos sobre a real efetividade dessas certificações em mitigar os impactos ambientais da indústria da construção. Estudos demonstram que a produção de concreto e aço é responsável por uma parcela significativa das emissões de gases de efeito estufa, especialmente devido aos processos de fabricação de cimento e à siderurgia a carvão. Embora as certificações considerem aspectos, a exemplo da eficiência energética e gestão de resíduos, a avaliação da pegada de carbono dos materiais utilizados ainda é limitada (Conselho Brasileiro de Construção Sustentável, 2023).

Estudos sobre a pegada de carbono dos principais materiais de construção e suas alternativas mais sustentáveis são necessários para embasar melhorias nos sistemas de certificação e práticas construtivas. Uma análise do ciclo de vida dos materiais, incluindo a extração, produção, uso e descarte, pode fornecer uma visão abrangente de suas emissões de gases de efeito estufa e impactos ambientais. Além disso, uma compreensão de materiais inovadores e de baixo impacto, como biocompostos e reciclados, pode contribuir significativamente para a redução da pegada de carbono da construção civil. A integração dessas práticas nas diretrizes de certificação pode não apenas aumentar a eficácia das avaliações, mas também incentivar a indústria a adotar soluções mais sustentáveis e responsáveis em seus projetos (Zuo e Zhao, 2023).

Apesar de 90% das obras no Brasil certificadas utilizarem concreto, esse material é responsável por grandes emissões de CO₂ durante sua produção, devido à queima de combustíveis fósseis e calcinação do calcário na fabricação do cimento. O aço também é um material, que contribui com cerca de 8% das emissões globais, especialmente pela siderurgia e pelo coque siderúrgico. Essas emissões significativas fomentam preocupações sobre a sustentabilidade da construção civil, uma vez que os materiais utilizados impactam diretamente as mudanças climáticas (Costa, 2012).

Conforme analisado por Feiber *et al.* (2019), a alvenaria convencional gera 70% a mais de CO₂ do que uma estrutura de aço leve, a qual é definida como uma alternativa de baixo impacto ambiental, apresentando emissões inferiores a 200 kg de CO₂ por metro quadrado. No entanto, o custo total da estrutura de aço é aproximadamente 50% superior, o que justifica a preferência dos construtores pelo método convencional. Além disso, uma análise de custo de carbono demonstra que o método de alvenaria convencional apresenta um custo 200% maior em relação à

estrutura de aço leve.

Costa (2012) realizou um levantamento das emissões de dióxido de carbono associadas aos principais materiais e componentes empregados na construção civil brasileira, como cimento, cerâmica, vidro, PVC, blocos de concreto, entre outros. A análise das emissões de carbono na construção civil é importante para entender o impacto ambiental das práticas construtivas e para o desenvolvimento de estratégias que visem à redução desses impactos, promovendo uma construção mais sustentável.

A metodologia apresentada por Costa (2012) é considerada neste trabalho e foi escolhida por sua relevância em relação às características da construção civil brasileira, levando em consideração os materiais utilizados e as questões operacionais na definição dos fatores de conversão. Esses fatores refletem o mercado brasileiro e podem ser aplicáveis a obras em alvenaria tradicional, em função das características das construções. É fundamental ressaltar que Costa (2012) atribuiu um fator de conversão, com base na legislação brasileira, considerando as especificidades dos materiais, como a proteção de matérias-primas, transporte, fabricação de produtos e as particularidades dos sistemas construtivos utilizados no Brasil. A Tabela 4 apresenta os principais fatores de conversão identificados por Costa (2012) que foram utilizados na análise da pesquisa desta dissertação.

Tabela 4 - Fatores de conversão dos principais materiais utilizados na análise segundo Costa (2012)

Material	Unidades de medida dos materiais	Fator de conversão (toneladas de CO₂/ toneladas de material fabricado)
Agregados grosseiros	tonelada	0,086
Aço	tonelada	1,845
Concreto	m ³	0,370
Moldes de madeira	m ³	0,405
Painéis cimentícios	tonelada	0,491
Argamassa	m ³	0,139
Ladrilhos e tijolos cerâmicos	tonelada	0,111
Pisos cerâmicos	m ³	0,187

Fonte: Costa (2012)

Na Tabela 5, conforme apresentado por Junior (2018), são exibidos os valores calculados por diversos autores em relação à emissão de CO₂ kg/ m² de uma habitação popular com 40 m² da Cohapar (Companhia de Habitação do Paraná) em alvenaria tradicional. Ao comparar os dados de Cybis e Santos (2000) com os fornecidos pelo IDD – Institut Wallon - VITO (2001), Cruz et al. (2003) reporta emissões relativamente baixas, com destaque para o cimento, que apresenta uma emissão de 2360 kg. O IDD - Institut Wallon - VITO (2001) apresenta emissões moderadas, destacando o cimento com 2942,5 kg. Já Isaia e Gastaldin (2004), identificam emissões significativas, com o cimento atingindo 4576 kg. As emissões de CO₂ variam consideravelmente entre as referências para o mesmo material, o que sugere a utilização de diferentes metodologias de cálculo ou fontes de dados distintas.

Tabela 5 - Emissões CO₂ por casa popular com 40 m² da Cohapar, referente ao processo produtivo dos materiais de construção

	Cybis e Santos (2000)	Cruz et al.(2003)	IDD – INSTITUT WALLON – VITO (2001)	Isaia e Gastaldin I (2004)	CO ₂ (MÉDIA/CA SA)	CO ₂ (MÉDIA/m ²)
CIMENTO	779,1542	2360	2942,5	4576	2664,41	66,61
CAL	707,14	707,14	707,14	707,14	707,14	17,68
AÇO	-	160	229,5	-	194,75	4,87
TIJOLOS/ TELHAS	11324,52	1800	2140	-	5088,17	127,20
EXTRAÇÃO DE AREIA	14,525	760	-	141,75	305,43	7,64

Fonte: Adaptado de Junior (2018).

Com o intuito de analisar as emissões de CO₂ do sistema construtivo *Light Wood Frame* no Brasil e, posteriormente, realizar uma comparação com a alvenaria tradicional, utilizando, como estudo de caso, o Centro da Juventude, este estudo emprega o Potencial de Aquecimento Global (GWP) como ferramenta de análise. Para tanto, foram utilizadas Declarações Ambientais de Produto (EPDs) de fabricantes internacionais, que operam com métodos de produção análogos aos praticados no Brasil.

A membrana hidrófuga, componente no sistema *Light Wood Frame*, garante a proteção contra umidade e condições climáticas adversas, preservando a integridade

e durabilidade da edificação. Atua como barreira impermeável contra a entrada de água, mantendo a resistência e estabilidade da estrutura de madeira. Sua permeabilidade ao vapor permite a "respiração" da parede, evitando a retenção de umidade (Espaço Smart, 2023).

O OSB (*Oriented Strand Board*), um material de construção comumente usado em sistemas, como o *Light Wood Frame*, é composto por lascas de madeira orientadas em camadas, unidas por resinas derivadas do petróleo. Sua resistência e estabilidade tendem a torná-lo ideal para paredes, pisos e telhados, permitindo a utilização de madeira de reflorestamento e resíduos (UI Environment, 2013).

O sistema *Steel Frame* apresenta vantagens em relação às emissões de CO₂ em comparação com outros sistemas construtivos, especialmente ao se considerar o aço e seu ciclo de vida. Uma estrutura de aço com cerca de 0,141 toneladas resulta na emissão de aproximada de 0,260 toneladas de CO₂, com base em um fator de conversão de 1,845. Esse valor inclui as emissões da produção do aço, um processo intensivo em energia e dependente de combustíveis fósseis, além do transporte e da instalação (Carleto, 2019).

Para auxiliar na quantificação das emissões de CO₂, a Tabela 6 apresenta os dados referentes à fabricação dos materiais utilizados na construção dos sistemas *Steel Frame* e *Wood Frame*. A conversão desses dados em toneladas de CO₂ (tCO₂), constituem um ponto de partida para a análise do impacto ambiental dos sistemas *Steel Frame* e *Wood Frame* (Patrício, 2019).

Tabela 6 - Emissões de CO₂ light wood frame e steel frame

Material	Unidade funcional (UF)	Fator de emissão (kgCO ₂ eq/UF)	Fonte
Membrana hidrófuga	m ²	0,28	IBU (2016b)
Placa de gesso	m ²	3,92	IBU (2016c)
Placa cimentícia	m ²	0,491	IBU (2013)
OSB	m ²	0,4426	UL ENVIRONMENT (2013)

Fonte: Adaptado pela a autora, 2024

3.6 ESTADO DA ARTE SOBRE AS APLICAÇÕES DOS SELOS DE CERTIFICAÇÃO SUSTENTÁVEL EM INSTITUIÇÕES DE ENSINO

Segundo Shendell (2020), o programa *Sustainable Jersey for Schools* (SJS) foi desenvolvido em Nova Jersey para promover a sustentabilidade ambiental nas escolas públicas do ensino fundamental e médio, nos Estados Unidos, oferecendo certificação gratuita e voluntária para distritos escolares e escolas que buscam adotar práticas sustentáveis. Esse programa visa conscientizar sobre a redução de resíduos e emissões de gases de efeito estufa, incentivando medidas, como eficiência energética, conservação e educação ambiental. A avaliação quantitativa entre 2014 e 2018 revela que, embora 52,8% dos distritos escolares estivessem registrados no SJS, apenas 33,2% das escolas públicas haviam aderido ao programa, indicando desafios na implementação das diretrizes propostas.

Para obter a certificação, as escolas devem seguir um processo que inclui o estabelecimento de uma Equipe Verde, implementação de ações prioritárias e cumprimento de critérios específicos. Embora tenham sido concedidas 317 certificações entre 2015 e 2018, muitas escolas registradas ainda não receberam certificação, destacando a necessidade de um maior engajamento. As certificações são divididas em níveis bronze e prata, com apenas 11,2% das escolas públicas alcançando a certificação de bronze e 10% obtendo o nível prata; isso mostra que há espaço para crescimento e desenvolvimento contínuo do programa SJS no estado de Nova Jersey.

Segundo Finnegan (2023), o setor educacional no Reino Unido, incluindo o Quadro Nacional para Escolas Sustentáveis, é composto por 47.500 instalações com uma área total de 80 milhões de m² e um consumo anual de energia de 15.020 GWh. Com 40% das escolas construídas entre 1940 e 1985, concluiu-se que o consumo de energia no setor educacional poderia ser reduzido em 45% com um investimento de £2,1 bilhões.

A pesquisa orienta as partes interessadas escolares com base em práticas sustentáveis observadas. Por meio de uma análise da educação climática e energética, foi destacada a necessidade de uma educação ambiental e de sustentabilidade que enfatize o papel da ação coletiva, além de focar nos comportamentos individuais. Embora várias iniciativas, como o programa Eco-

Escolas, tenham sido implementadas para promover a sustentabilidade escolar, os resultados indicam um caminho desafiador à frente, especialmente em termos de mudança de comportamento e resultados de aprendizagem. É essencial que as escolas recebam apoio governamental, incluindo investimentos para melhorar o desempenho energético das instalações, à medida que buscam alcançar metas de zero emissões de carbono até 2030.

Outra pesquisa realizada sobre certificações na Índia, efetivada por Samudyatha (2023), concentrou-se na análise dos desafios e oportunidades de envolver crianças em idade escolar em um estilo de vida sustentável, com especial ênfase nas ações relacionadas às mudanças climáticas. Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) destacam a importância crucial de estilos de vida em harmonia com a natureza, enfatizando a interdependência entre cidades sustentáveis, consumo responsável e ação climática.

O estudo foi conduzido por meio de entrevistas com 134 estudantes, de idades entre 11 e 14 anos, em escolas da cidade de Karnataka, a fim de analisar o nível de conhecimento sobre sustentabilidade entre os entrevistados. Terminologias associadas às causas das Alterações Climáticas, como “Desmatamento” e “Aquecimento Global”, eram mais familiares aos participantes, enquanto conceitos, como “Pegada de Carbono” e “Estilo de Vida Sustentável”, não eram tão conhecidos. Diversas fontes de informação, incluindo livros didáticos, mídia, internet e filmes, foram utilizadas pelos estudantes.

Os dados coletados revelam que as mudanças climáticas têm impactos significativos para a saúde e meio ambiente, destacando a urgência de ações coletivas para mitigar esses efeitos. Entretanto, a compreensão dos mecanismos das mudanças climáticas e dos passos práticos para agir ainda é limitada entre as crianças em idade escolar na Índia.

A pesquisa também revela que, embora a maioria dos participantes reconheça a importância de agir contra as mudanças climáticas, poucos têm conhecimento sobre como implementar ações concretas em suas vidas cotidianas. Além disso, os dados indicam que o apoio familiar e social desempenham um papel fundamental na capacidade das crianças indianas de adotarem estilos de vida sustentáveis.

Para enfrentar esses desafios, a pesquisa destaca a importância de estratégias educacionais inovadoras que incorporem abordagens holísticas para a compreensão das mudanças climáticas, promovam atividades práticas e construção de

comunidades. A integração dessas iniciativas é crucial para capacitar as crianças indianas a adotarem estilos de vida sustentáveis e promover uma resposta eficaz às mudanças climáticas, garantindo um futuro sustentável para o país e para o planeta.

Goldman (2018) investigou o impacto da 'certificação escolar verde' (GSC) nas escolas de Israel. O *Green School Certification* (GSC) inclui a integração da educação ambiental no currículo escolar, práticas de gestão eficiente de recursos, como água e energia, programas de reciclagem e redução de resíduos, construção de infraestruturas verdes com materiais *eco-friendly* e sistemas de energia renovável, bem como engajamento da comunidade escolar e local em iniciativas ambientais.

O GSC é uma das principais estratégias conduzidas em Israel para promover o desenvolvimento sustentável (Negev *et al.*, 2008; Tal e Peled, 2016). Desde o seu início, 1.000 escolas (25% das escolas em Israel) foram certificadas, quase 200 para a certificação superior (verde em curso) e cerca de 150 escolas entraram no processo de certificação; a maioria (85%) são escolas primárias e incluem os setores árabe e religioso.

Os resultados, destacados Goldman *et al.* (2018), revelam que as escolas certificadas tendem a apresentar maior alfabetização ambiental entre os alunos e a adotar mais práticas sustentáveis em comparação com aquelas não certificadas. No entanto, apesar desses ganhos, há uma lacuna entre os benefícios educacionais e as melhorias no desempenho ambiental das escolas.

Os artigos analisados compartilham um foco comum na promoção da sustentabilidade no setor educacional, destacando a importância de iniciativas que visam reduzir o impacto ambiental e fomentar a conscientização sobre questões climáticas. Todos os estudos abordam programas e certificações que incentivam práticas sustentáveis em escolas, como o *Sustainable Jersey for Schools* nos Estados Unidos, o Quadro Nacional para Escolas Sustentáveis no Reino Unido, e a certificação *Green School Certification* (GSC) em Israel. Essas iniciativas não apenas visam a melhoria do desempenho ambiental das instituições, mas também buscam integrar a educação ambiental ao currículo escolar, promovendo uma cultura de sustentabilidade entre alunos e comunidades. Além disso, ressaltam os desafios enfrentados na implementação dessas práticas, como a necessidade de maior engajamento das escolas e suporte governamental.

4 CENTRO DA JUVENTUDE PROFESSOR JOMAR VIEIRA DA ROCHA

O Centro da Juventude, localizado na Travessa da Felicidade, no bairro Julieta Bueno, em Cascavel - PR, é uma homenagem ao Professor Jomar Vieira Rocha, ex-Diretor do Colégio Consolata e ex-Diretor da APP Sindicato, que contribuiu significativamente com projetos sociais para a região norte de Cascavel. Inaugurado em 2017, o centro ocupa uma área de 3.000 m² e o seu edifício principal 907m² de área construída conforme mostra a Figura 4. Suas instalações incluem uma piscina semiolímpica, uma quadra poliesportiva, um estúdio de rádio, uma biblioteca, salas de informática, horta comunitária e um auditório. Este espaço atende mensalmente cerca de 400 jovens, proporcionando-lhes acesso a diversas atividades extracurriculares educativas e recreativas.

Figura 4 – Centro da Juventude Professor Jomar Vieira Rocha



Fonte: Autora, 2023

As atividades do Centro da Juventude encontram-se alinhadas com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), sendo reconhecido pelo selo SESI ODS 2021 pelas atividades extracurriculares desenvolvidas. Dentre os principais ODS contemplados pelas ações do centro, destacam-se a promoção da educação inclusiva e equitativa (ODS 4), fomentando o desenvolvimento de habilidades essenciais para o futuro dos jovens; o fomento ao trabalho decente e crescimento econômico (ODS 8), ao preparar os discentes para o mercado de trabalho e gerar oportunidades de

emprego; e a redução das desigualdades (ODS 10), ao proporcionar acesso a recursos e oportunidades para jovens de diferentes origens socioeconômicas, contribuindo para uma sociedade mais justa e inclusiva, a imagem do Selo Sesi Ods 2021 conforme mostra a Figura 5.

Figura 5 - Reconhecimento selo Sesi OSD, 2021



Curitiba, 25 de novembro de 2021.

Fonte: Sesi ODS, 2021.

O Centro da Juventude apresenta uma ampla gama de alternativas, que engloba projetos, cursos e palestras, destinados aos jovens. Esta oferta parece refletir uma preocupação com a ocupação construtiva do tempo livre desses indivíduos, mantendo-os envolvidos em atividades que promovam a inclusão social. Seja na prática desportiva (Natação, capoeira, futebol de salão, karatê por exemplo) ou participação em oficinas de leitura, o objetivo é oportunizar práticas educativas significativas independentemente do contexto. Os subcapítulos subsequentes apresentam uma descrição detalhada da infraestrutura atual, incluindo informações sobre os métodos construtivos e os materiais utilizados.

4.1 POSIÇÃO GEOGRÁFICA DA EDIFICAÇÃO NO LOTE

A análise da edificação revela que sua fachada principal está orientada para o sul. As extremidades do edifício possuem aberturas estrategicamente posicionadas para facilitar a ventilação cruzada, aproveitando a predominância dos ventos vindos do nordeste e permitindo a circulação eficiente de ar de uma ponta a outra. Quanto à insolação, a orientação leste-oeste acompanha o trajeto solar diário, com o nascer do sol a leste e o pôr a oeste. A inclinação e o avanço da laje em concreto armado foram projetados para reduzir a incidência direta de luz solar sobre o edifício, minimizando o aquecimento interno.

Apesar de todas as fachadas receberem algum grau de insolação, a fachada sul, equipada com esquadrias de vidro em toda a sua extensão, mantém uma temperatura interna estável, pois não é diretamente exposta ao sol durante o ano. Os ruídos predominantes no entorno provêm da Travessa da Felicidade, única via de acesso ao conjunto. Essa configuração arquitetônica contribui significativamente para o conforto térmico e acústico dos usuários. A Figura 6 apresenta uma legenda ilustrativa, destacando as direções predominantes de ruído, a trajetória solar e a ventilação do nordeste, reforçando a busca pela eficiência energética e o bem-estar dos ocupantes.

Figura 6 - Imagem satélite Centro da Juventude



Fonte: Google Maps adaptado pela autora, 2024

4.2 SISTEMA HIDRÁULICO

O Centro da Juventude dispõe de dois banheiros coletivos frequentemente utilizados pelos alunos, resultando em um consumo significativo de água. Para mitigar esse impacto, foram instaladas torneiras hidromecânicas, em conformidade com a norma NBR 1371 (2022), estabelece diretrizes para a instalação e manutenção do sistema hidráulico e preveem limites para o volume máximo de água liberado em cada acionamento. Contudo, os vasos sanitários ainda utilizam válvula de descarga na parede, não sendo o sistema mais eficiente. A Figura 7 a seguir ilustra o sistema hidráulico implementado.

Figura 7 – Dispositivos hidráulicos (a) Torneiras Banheiro Masculino e Feminino; (b) Descarga de válvula de parede.



Fonte: Autora, 2023.

Para otimizar o consumo de água no banheiro, recomenda-se a substituição das descargas de válvula de parede, que podem consumir até 30 litros por acionamento, por modelos de caixa acoplada. As descargas com caixa acoplada consomem, em média, 6 litros por acionamento; muitos modelos modernos apresentam um sistema de duplo acionamento, permitindo a escolha entre uma descarga completa para sólidos e uma parcial para líquidos, que utiliza apenas 3 litros. Essa alteração não apenas reduz significativamente o consumo de água, mas também contribui para a sustentabilidade. Além disso, a implementação de dispositivos economizadores de água é uma exigência dos selos de sustentabilidade LEED, AQUA-HQE e BREEAM.

4.3 ILUMINAÇÃO ZENITAL

O Centro da Juventude destaca-se por integrar, em seus ambientes internos, uma combinação de luminárias fluorescentes e de LED, resultando em vantagens significativas no que tange à gestão de energia e à redução do consumo. Dentre os aspectos relevantes, sobressai a presença estratégica de claraboia, de acordo com a Figura 8, localizadas nas áreas de circulação e nos banheiros, as quais potencializam a entrada de luz natural.

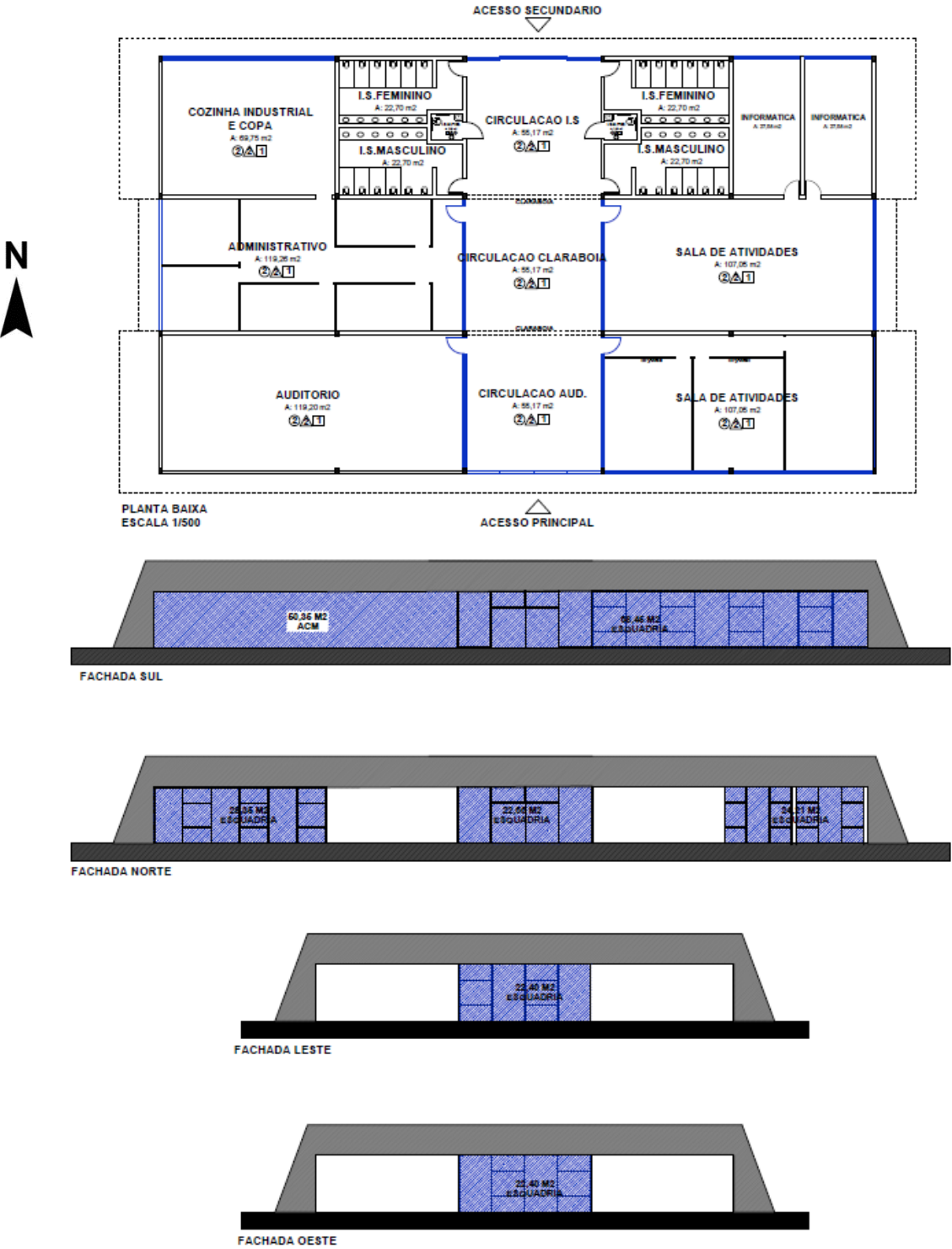
Figura 8 - Claraboia. (a) Claraboia na circulação; (b) claraboia nos banheiros



Fonte: Autora, 2023.

Ademais, as fachadas do Centro da Juventude são parcialmente revestidas por uma película de vidro conforme a Figura 9, o que otimiza a iluminação natural em todo o espaço. Essa concepção obedece aos níveis mínimos de iluminação definidos pela NBR 5413 (2012) que determina iluminância em ambientes internos, enfatizando o uso da luz natural. Tais características não apenas contribuem para a eficiência energética, reduzindo a dependência de iluminação artificial, mas também promovem um ambiente sustentável e economicamente eficiente.

Figura 9 – Fachadas e planta baixa



Fonte: Autora, 2023.

4.4 VENTILAÇÃO

O local dispõe de ventilação natural e cruzada em quase todos os ambientes, visando assegurar a circulação e a qualidade do ar interno. Contudo, também se nota o uso, embora esporádico, de aparelhos de ar-condicionado. Esse arranjo está alinhado com a categoria de Manutenção e Permanência do Desempenho Ambiental. Pode-se observar, na Figura 10, que todas as salas são equipadas com grandes janelas, o que facilita a ventilação cruzada.

Figura 10 - Sala de dança (a), sala de karatê (b)



Fonte: Autora, 2023.

A ventilação cruzada não se demonstra eficaz no auditório, que carecem de janelas, e nos banheiros, que possuem apenas uma claraboia de acordo com a Figura 9. Essa configuração limita a passagem do vento de uma extremidade à outra do edifício, comprometendo a eficiência da ventilação natural proposta. Tal limitação enfatiza a necessidade de um planejamento mais cuidadoso e abrangente para assegurar uma circulação de ar adequada no interior do edifício. A implementação de soluções arquitetônicas que favoreçam a ventilação cruzada é essencial para otimizar o conforto ambiental e a qualidade do ar nos espaços internos, além de ser uma das exigências dos selos de sustentabilidade LEED, AQUA-HQE e BREEAM.

4.5 INSOLAÇÃO

O edifício adota medidas que visam otimizar o Conforto Higrotérmico. Nas extremidades que recebem a incidência solar do leste e do oeste, a edificação apresenta uma parede dupla que se projeta para além da estrutura, proporcionando sombra e contribuindo para a redução do ganho térmico; a disposição aerodinâmica da fachada foi planejada para maximizar a incidência solar, conforme ilustrado na Figura 11, e a cobertura conta com aberturas zenitais, que favorecem a ventilação natural e a iluminação adequada dos ambientes internos.

Figura 11 - Disposição aerodinâmica da fachada, aproveitamento do sol



Fonte: Autora, 2023.

4.6 ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

O nível de iluminância recomendado pela norma ABNT NBR 5413 (2012) varia conforme o tipo de atividade a ser desenvolvida no ambiente. Para tarefas gerais em salas de aula, por exemplo, o valor típico oscila entre 300 e 500 lux, o que é facilmente alcançado com a utilização de lâmpadas de LED conforme Figura 12. Essas lâmpadas não apenas proporcionam a iluminação artificial necessária, mas também contribuem significativamente para a economia de energia. Além disso, foi realizada uma análise detalhada de cada ambiente, cujos resultados serão apresentados em seções subsequentes.

Figura 12 - Lâmpadas de LED - Sala de aula (a), Sala de dança (b)



Fonte: Autora, 2023.

4.7 ÁREA PERMEÁVEL

É fundamental analisar esse cálculo conforme as leis municipais, que estabelecem a taxa de ocupação e a taxa de permeabilidade do solo para cada setor. Isso garante a conformidade com as normas urbanísticas e ambientais locais, de acordo com a Tabela 7 da Lei de Uso do Solo de Cascavel/PR. Tal análise assegura que o desenvolvimento urbano respeite os parâmetros legais e ambientais, promovendo a sustentabilidade e o ordenamento adequado do território.

Tabela 7 - Lei de Uso de Solo-Cascavel/PR		
Parâmetro de Uso e Ocupação do Solo do terreno CJ		
Área (m²) 6.596 m²	Taxa de ocupação: 60%	Taxa de permeabilidade:30%

Fonte: Geoportal Cascavel, 2024.

De acordo com a norma ABNT NBR 16416 (2015) que especifica os requisitos e métodos de ensaio para pavimentos permeáveis de concreto, a área permeável total é de 1.978,8 m². Dentre essa área, 995,8 m² são ocupados por um estacionamento pavimentado com pavers, classificados como parcialmente permeáveis.

O restante da área, correspondente a 983 m², é coberto por grama. Como alternativa para maximizar a permeabilidade do solo, recomenda-se a substituição dos pavers por pisos permeáveis ou a adoção de concregrama, uma vez que esses

sistemas permitem uma maior infiltração da água no solo, conforme ilustrado na Figura 13 demonstra o paver em toda extensão do estacionamento.

Figura 13 - Paver em toda extensão do estacionamento



Fonte: Autora, 2024.

4.8 ACESSIBILIDADE

As rampas devem atender às inclinações especificadas na NBR9050 (2020) que estabelece critérios e parâmetros técnicos para a acessibilidade em edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos, conforme Tabela 8. Para inclinações entre 6,25% e 8,33%, recomenda-se a incorporação de áreas de descanso a cada 5 metros de extensão. Essas áreas de repouso são essenciais para garantir a acessibilidade e o conforto dos usuários, especialmente aqueles com mobilidade reduzida, proporcionando pontos de recuperação durante o trajeto.

Tabela 8- Normas inclinação de rampa NBR9050 (2020)

Desníveis máximos de cada segmento de rampa h/m	Inclinação admissível em cada segmento de rampa <i>i</i> %	Número máximo de segmentos de rampa
1,50	5,00 (1:20)	Sem limite
1,00	5,00 (1:20) < <i>i</i> ≤ 6,25 (1:16)	Sem limite
0,80	6,25 (1:16) < <i>i</i> ≤ 8,33 (1:12)	15

Fonte: NBR9050 (2020)

A rampa em análise apresenta claras inconformidades em relação às normas vigentes da NBR 9050 (2020) conforme mostra a Figura 14. Para determinar o comprimento adequado de uma rampa com altura de 1,60 metros e inclinação de 6,25%, utiliza-se a relação trigonométrica da tangente, o que indica um comprimento necessário de 25,6 metros. Entretanto, a rampa em questão possui apenas 16 metros de comprimento, o que a torna inadequada para atender aos requisitos normativos, rampas com comprimento superior a 5 metros devem incluir áreas de descanso (patamares) intermediárias, com dimensões mínimas de $1,20 \times 1,20$ metros, para garantir maior conforto e segurança aos usuários durante a locomoção.

Figura 14 - Rampa PNE (a), Rampa de acesso de carros (b)



Fonte: Autora, 2024.

A porta do banheiro destinado a pessoas com necessidades especiais (PNE) deve garantir um acesso livre, permitindo a abertura em um ângulo de 180 graus, além de proporcionar uma área de giro. Esse espaço é essencial para que o usuário em cadeira de rodas consiga abrir a porta com facilidade. No entanto, essa condição não é atendida no Centro da Juventude, conforme ilustrado na Figura 15. Ademais, a descarga apropriada para banheiros destinados a cadeirantes deve ser acionada por meio de alavanca, sendo frequentemente designada como "descarga de vaso sanitário adaptado" ou "descarga para banheiro PNE", conforme estipulado pela norma ABNT NBR 9050 (2020). É importante ressaltar que a área de giro livre para a cadeira de rodas deve corresponder a um diâmetro de 150 cm, o que também não é atendido nas instalações do referido centro. A observância dessas diretrizes assegura a acessibilidade e a autonomia dos usuários com mobilidade reduzida.

Figura 15 – Banheiro PNE externo (a) ; Banheiro PNE interno (b)



Figura (a)



Figura (b)

Fonte: Autora, 2024.

5 METODOLOGIA DA PESQUISA

A presente pesquisa apresenta uma análise crítica a respeito dos selos de sustentabilidade, buscando verificar se os mesmos remetem a realizada brasileira. Para tanto, o Centro da Juventude apresentado no Capítulo 4 foi utilizado como estudo de caso para verificar se os critérios propostos nos respectivos selos podem ser aplicados ao respectivo centro e quais seriam as modificações necessárias para torná-lo uma referência como edificação sustentável. Por fim, um levantamento com relação às emissões de CO₂ considerando os materiais e métodos construtivos utilizados no Centro da Juventude e a avaliação de uso de outras técnicas foram avaliados conforme descrito nos subcapítulos seguintes.

5.1 ANÁLISE CRÍTICA AQUA *EDUCATION* E LEED *FOR SCHOOLS*

A presente pesquisa tem como foco a investigação dos métodos construtivos empregados no Centro da Juventude, com especial atenção para os selos AQUA *Education* e LEED *for Schools*. O objetivo primordial deste estudo é oferecer uma análise crítica das práticas construtivas adotadas, avaliando seu potencial impacto ambiental e social. Ressalta-se que o BREEAM não contempla uma categoria específica para centros educacionais, limitando-se a edifícios comerciais e residenciais, e se restringe somente a exigências relacionadas ao conforto térmico, acústico e luminoso, o qual qualquer projeto de arquitetura deve seguir.

Para alcançar tais objetivos, foram coletados dados referentes à infraestrutura e às características técnicas do Centro da Juventude por meio de visitas *in loco* e análise documental. Um levantamento fotográfico foi realizado, e as medições obtidas foram transferidas para o *software* AutoCAD e Revit. Além disso, foi realizada a análise da iluminação utilizando luxímetro, a avaliação dos níveis de ruído com decibelímetro e a medição da ventilação com anemômetro. O estudo também levou em consideração os principais critérios dos selos AQUA *Education* e LEED *Schools*, especificamente nas categorias de Gestão de Energia, Gestão da Água, Qualidade do Ar e Conforto do Ambiente Interno, permitindo uma comparação entre esses critérios com as normas nacionais e com o que existe no Centro da Juventude por meio do levantamento de dados. Adicionalmente, foram analisadas as metodologias construtivas e os materiais utilizados globalmente, possibilitando a quantificação de

uma obra de alvenaria tradicional em comparação aos métodos *wood frame* e *steel frame*.

5.2 CRITÉRIOS DE ANÁLISE DA INFRAESTRUTURA

A presente dissertação fundamenta-se na análise da implementação das estratégias previstas nos selos *AQUA Education*, *LEED for Schools* e *BREEAM*, sendo que a análise do *BREEAM* será realizada de forma genérica, com ênfase no conforto térmico, acústico e luminoso. Para tal, o Centro da Juventude foi selecionado como modelo de referência para abordar os aspectos relacionados aos selos mencionados, uma vez que o empreendimento é reconhecido por suas práticas sustentáveis. A análise da infraestrutura do Centro da Juventude envolve a avaliação de diversos elementos construtivos e operacionais que contribuem para a eficiência ambiental e social do espaço. A pesquisa abrange a coleta de dados sobre as características arquitetônicas, os sistemas de gestão de recursos hídricos e energéticos, além da qualidade do ar interno e umidade. O levantamento foi realizado por meio de 3 visitas *in loco* em três dias com climas distintos, análise documental e medições diretas, utilizando instrumentos como luxímetro AK305, decibelímetro AK823, anemômetro AK821 e termo-higrômetro AK632 todos da linha Akso, conforme Figura 16.

Figura 16 – Medição com luxímetro, decibelímetro, anemômetro, termo-higrômetro da marca Akso.



Fonte: Akso, 2024.

5.2.1 AVALIAÇÃO CONFORTO LUMÍNICO NATURAL

A NBR 5413 (2012) estabelece diretrizes para a iluminância em ambientes internos, com ênfase na priorização da luz natural. No contexto do Centro da Juventude, os ambientes foram submetidos a medições e avaliações conforme os critérios estabelecidos para a iluminação natural, assegurando a conformidade com as normas que definem os valores mínimos de iluminância média para a iluminação artificial em espaços internos.

O luxímetro ak305 da Akso foi empregado para mensurar a intensidade luminosa em diversos ambientes do Centro da Juventude, conforme ilustrado na Figura 17, com o intuito de avaliar se as condições de iluminação estão em conformidade com as normas recomendadas. Antes do início das medições, todas as fontes de iluminação artificial foram desativadas, estabelecendo assim uma linha de base para a luz ambiente. O sensor do luxímetro foi posicionado paralelamente à superfície analisada, assegurando que não houvesse sombras sobre ele durante o processo de medição. Após um breve período de estabilização do equipamento, as leituras foram registradas em pontos diferentes do ambiente, permitindo a obtenção de uma média representativa da iluminância. Para maior precisão, foram calculadas médias das intensidades luminosas registradas ao longo de três dias distintos, um dia chuvoso, um ensolarado e um seco, possibilitando uma avaliação quantitativa das condições de iluminação e a verificação da conformidade com as normas estabelecidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Figura 17 – Luxímetro AK305



Fonte: Akso, 2024.

O nível de iluminância natural recomendado pela norma ABNT NBR 5413 (2012) pode variar em função do tipo de atividade a ser realizada no ambiente e é medido por meio de um luxímetro, que quantifica a intensidade luminosa em lux. Por exemplo, para atividades gerais em uma sala de aula, o valor típico de iluminância varia entre 300 a 500 lux. Entretanto, é preciso avaliar as especificidades de cada ambiente relacionado ao Centro da Juventude, conforme apresentado na Tabela 9.

Tabela 9 - Iluminância de interiores ambientes escolares

Ambientes	Lux Mínimo-médio-máximo
Sala de leitura	300 - 500 – 750
Salas de aulas	200 - 300 – 500
Quadros negros	300 - 500 – 750
Salas de trabalhos manuais	200 - 300 – 500
Anfiteatros e auditórios: platéia	150 - 200 – 300
Banheiros	300 - 500 – 750

Fonte: NBR 5413 (2012)

As normas AQUA-HQE *Education* e LEED *for Schools* estabelecem diretrizes rigorosas para a iluminação em salas de aula, visando criar ambientes de aprendizagem eficientes e confortáveis. Ambas as certificações recomendam uma iluminação de 500 lux para atividades de leitura e escrita, assegurando que os alunos tenham condições adequadas para o desempenho acadêmico. Além disso, um Índice de Reprodução de Cor (IRC) superior a 80 é exigido para garantir que as cores sejam vibrantes e realistas, contribuindo para um ambiente visualmente estimulante.

A temperatura de cor das fontes de luz também é um critério importante, com recomendações situadas entre 4000K e 5000K, o que ajuda a estimular a concentração dos estudantes. A priorização da luz natural é incentivada, pois ela não apenas melhora a qualidade do ambiente, mas também promove o bem-estar dos alunos. Para complementar a iluminação natural, é essencial utilizar sistemas de iluminação artificial de alta qualidade, que devem ser equipados com controles que permitam ajustar tanto a intensidade quanto a temperatura de cor da luz.

5.2.2 AVALIAÇÃO DA VENTILAÇÃO IDEAL

A avaliação da ventilação ideal em edificações, conforme os sistemas de certificação de sustentabilidade LEED, AQUA e BREEAM, é crucial para garantir a qualidade do ar interno, a saúde dos ocupantes e a eficiência energética. O LEED enfatiza a importância da ventilação natural e mecânica para minimizar poluentes e otimizar o conforto térmico, seguindo normas como a ASHRAE 62.1-2010. O AQUA-HQE prioriza a ventilação natural e controlada para assegurar a qualidade ambiental e a saúde dos usuários.

Por sua vez, o BREEAM valoriza sistemas de ventilação eficientes que promovem a troca de ar e o controle da umidade, contribuindo para um ambiente saudável e sustentável. Em ambientes escolares, de acordo com NBR 15575 (2013) - Edificações Habitacionais – Desempenho, recomenda-se uma velocidade de ventilação entre 0,4 a 0,75 m/s, juntamente com uma renovação do ar de pelo menos quatro vezes por hora, para assegurar condições adequadas à saúde respiratória.

Para a avaliação da ventilação ideal no Centro da Juventude, foram realizadas medições da velocidade do vento utilizando um anemômetro AK821, conforme ilustrado na Figura 18. As aferições ocorreram em três dias distintos, em condições climáticas variadas (dia chuvoso, ensolarado e seco). A calibração do dispositivo foi realizada por meio da comparação com padrões de referência conhecidos, em múltiplos pontos (25%, 50% e 75% da faixa operacional), garantindo a precisão das medições obtidas.

Figura 18 – Anemômetro AK821



Fonte: Akso, 2024.

Após a instalação, o dispositivo foi ligado e deixado estabilizar por alguns instantes. As leituras da velocidade do vento foram registradas em intervalos regulares ao longo de um período específico, recomendado em torno de 10 minutos de acordo com NBR 15575 (2013) e próximo as aberturas. Após a coleta dos dados, procedeu-se ao cálculo da média das velocidades registradas nos 3 dias distintos, permitindo uma avaliação das condições de ventilação nos diferentes ambientes do centro.

Os sistemas *LEED for school* e *AQUA-HQE education* incentivam a utilização de poços canadenses, ventilação por exaustão e ventilação por deslocamento para assegurar a qualidade do ar interno e o conforto térmico em edificações. Embora não definam uma velocidade de ventilação específica, essas normas ressaltam a importância da eficácia da ventilação, seja ela natural ou mecânica, para manter um ambiente saudável.

Os poços canadenses são projetados para captar e distribuir ar fresco, enquanto a ventilação por deslocamento utiliza as diferenças de temperatura entre o ar quente e frio para promover a circulação. Sistemas de ventilação por exaustão atuam na remoção do ar quente e viciado, contribuindo para a eficiência da renovação do ar. Essas abordagens integradas visam criar espaços educacionais sustentáveis e confortáveis.

A realidade das escolas estaduais e municipais no Brasil enfrentam desafios significativos que comprometem a viabilidade da adoção de sistemas avançados de ventilação, conforme estabelecido pelos padrões LEED, AQUA-HQE e BREEAM. Tais sistemas abrangem tecnologias como poços canadenses, ventilação por exaustão, ventilação por deslocamento e ar-condicionado com função de renovação de ar, todas projetadas para otimizar a qualidade do ar interno e o conforto térmico.

Entretanto, a adoção destes selos de certificação ambiental revela-se inviável na realidade brasileira, uma vez que as restrições orçamentárias e a insuficiência de infraestrutura adequada nas instituições de ensino resultam na predominância do ventilador de teto e do sistema de ar-condicionado tipo *Split* como os equipamentos mais utilizados. Embora esses sistemas tecnológicos proporcionem maior conforto térmico, é crucial que os arquitetos brasileiros se concentrem na elaboração de projetos que maximizem a ventilação cruzada, aproveitando ao máximo as condições climáticas locais.

5.2.3 DESEMPENHO ACÚSTICO

Foi realizada uma análise acústica nas instalações do Centro da Juventude, utilizando um decibelímetro, com o propósito de verificar a conformidade dos níveis de ruído com as normas regulamentares. De acordo com a Norma Brasileira NBR 10152 (2000) Conforto Acústico, conforme especificado na Tabela 10.

Tabela 10 - Valores dos níveis para conforto acústico para diferentes ambientes escolares dB(A)	
Locais	dB (A)
Biblioteca, salas de música e desenho	35-45
Salas de aula, laboratórios	40-50
Circulação	45-55
Banheiros	40-50

Fonte: NBR 10152 (2000)

O decibelímetro AK823 foi utilizado para aferir os níveis de pressão sonora no Centro da Juventude de acordo com a Figura 19. Inicialmente, o equipamento foi ligado e configurado para a ponderação de frequência adequada. Também foi selecionado o modo de resposta, permitindo a escolha entre "*Fast*", apropriado para ruídos abruptos, e "*Slow*", indicado para sons contínuos. O microfone do decibelímetro foi estrategicamente posicionado em locais que evitassem aproximações excessivas à fonte sonora, garantindo a precisão das medições.

Figura 19– Decibelímetro AK823 utilizado para a medição de níveis de pressão sonora em decibéis.



Fonte: Akso, 2024.

As normas *LEED for School* e *AQUA-HQE Education* não definem um limite específico em decibéis para salas de aula, mas priorizam a criação de ambientes com boa acústica, utilizando materiais e tecnologias adequadas para garantir o conforto e a qualidade do ambiente de aprendizagem. Ambos os selos buscam minimizar o ruído de fundo, controlar o tempo de reverberação e garantir o isolamento acústico entre as salas de aula e outros espaços. O selo AQUA-HQE, em particular, busca minimizar o ruído proveniente de fontes internas e externas, garantindo um ambiente tranquilo e propício ao aprendizado. Ela também incentiva a criação de ambientes com conforto acústico, com materiais e tecnologias que absorvem o ruído e reduzem a reverberação.

As normas *LEED for School* e *AQUA-HQE Education*, embora não definam um limite específico em decibéis para salas de aula, priorizam a criação de ambientes com boa acústica, utilizando materiais e tecnologias adequadas para garantir o conforto e a qualidade do ambiente de aprendizagem. Ambas buscam minimizar o ruído de fundo, controlar o tempo de reverberação e garantir o isolamento acústico entre as salas de aula e outros espaços.

O selo AQUA-HQE, em particular, busca minimizar o ruído proveniente de fontes internas e externas, garantindo um ambiente tranquilo e propício ao aprendizado, priorizando o isolamento acústico entre as salas de aula e outros espaços, garantindo que o ruído externo não interfira no ambiente de aprendizagem. Ambos os selos utilizam materiais como lã de rocha, fibra de vidro, espuma acústica, feltro, cortiça, madeira tratada e painéis acústicos podem ser utilizados para criar um ambiente acústico ideal. A utilização de vidros insulados também contribui para a redução do ruído externo, assim como a aplicação de isolamento acústico na cobertura. É fundamental um projeto específico e a manutenção adequada para garantir a eficácia dos materiais ao longo do tempo.

No Brasil, a utilização de materiais como lã de rocha, espuma de poliuretano, fibra de vidro e outros insumos acústicos é bastante limitada. Os construtores tendem a optar pela alvenaria tradicional, que utiliza blocos cerâmicos, como uma alternativa mais econômica. Essa escolha se deve ao custo relativamente inferior desses materiais em comparação com os sistemas construtivos que oferecem melhor isolamento térmico e acústico. Essa preferência por soluções mais baratas pode comprometer a eficiência energética e o conforto dos ambientes construídos.

5.2.3 DESEMPENHO TERMO-HIGRÔMETRO

O termo-higrômetro AK632, conforme ilustrado na Figura 20, foi empregado para medir a temperatura e a umidade relativa do ar em diversos ambientes do Centro da Juventude. De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2022), a umidade relativa ideal em ambientes escolares deve ser mantida entre 40% e 60%, padrão seguido pelos selos analisados. As aferições foram realizadas em três dias distintos, caracterizados por condições climáticas variadas (chuvoso, ensolarado e seco), permitindo uma média representativa dos dados coletados.

O termo-higrômetro foi posicionado em locais representativos, afastados de fontes de calor ou umidade que pudessem interferir nas medições. Após a ativação do dispositivo, aguardou-se alguns instantes para que as leituras se estabilizassem. As medições de temperatura e umidade foram registradas em intervalos regulares, permitindo uma análise das condições ambientais em cada espaço, com a umidade relativa do ar expressa em porcentagem.

Figura 20 – Termo-higrômetro Ak632 utilizado para a medição de temperatura e umidade relativa do ar.



Fonte: Akso, 2024.

A medição da temperatura e umidade relativa do ar em ambientes escolares garante condições adequadas de aprendizado, conforme recomendado pela Organização Mundial da Saúde (OMS). Tanto os selos LEED quanto AQUA-HQE abordam esses aspectos em seus projetos, priorizando o conforto térmico e a qualidade do ar interno.

O LEED *for School* enfatiza a eficiência dos sistemas de ventilação e climatização, considerando a temperatura e a umidade para promover um clima interno agradável. Além disso, busca minimizar a presença de poluentes e umidade excessiva, promovendo tecnologias que reduzem o consumo energético. Por sua vez, o AQUA-HQE *Education* foca na qualidade ambiental interna, reconhecendo a temperatura e umidade como fatores essenciais para o bem-estar dos ocupantes. Ambas as certificações incentivam o uso de soluções tecnológicas para controlar esses parâmetros, assegurando um ambiente de aprendizagem saudável e sustentável.

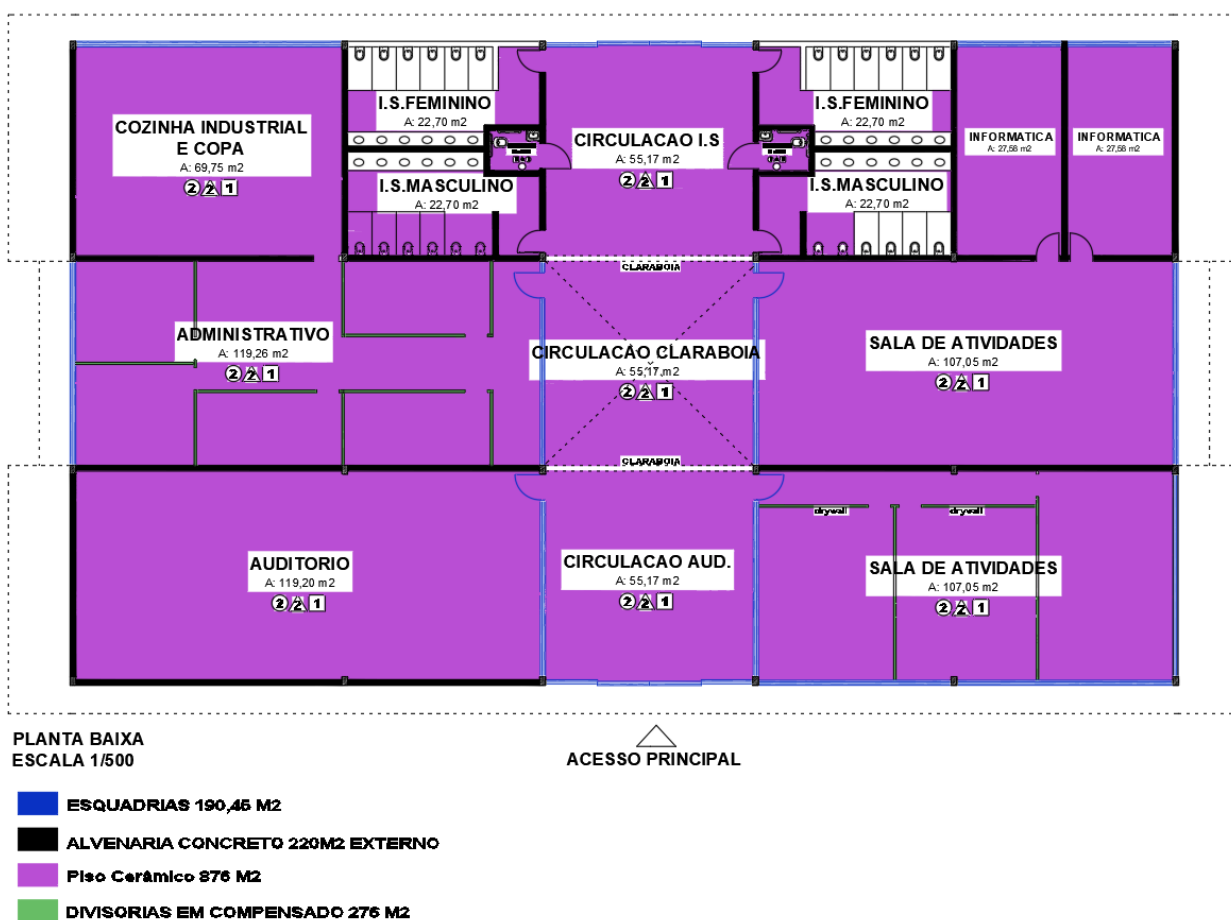
Os sistemas de certificação LEED *for School* e AQUA-HQE *Education* incorporam práticas avançadas de ventilação e controle de umidade, essenciais para garantir a qualidade do ar interno e o conforto térmico em ambientes educacionais. A ventilação mecânica, por meio de exaustores, é uma estratégia eficaz para remover o ar úmido, promovendo a troca por ar fresco e seco, com controle automatizado através de sensores de umidade. Os desumidificadores funcionam com um ciclo que envolve uma serpentina fria e uma quente: o ar úmido do ambiente é aspirado e direcionado para a serpentina fria, onde o vapor d'água condensa em gotículas que são coletadas em um reservatório. O ar seco é então aquecido pela serpentina quente e expelido de volta para o ambiente, reduzindo a umidade relativa do ar.

A adoção de sistemas de certificação como LEED *School* e AQUA-HQE *Education* não se adequa à realidade das escolas brasileiras, que frequentemente enfrentam limitações orçamentárias. Essas certificações incorporam práticas avançadas de ventilação e controle de umidade, essenciais para garantir a qualidade do ar interno e o conforto térmico. Estratégias como ventilação mecânica com exaustores e desumidificadores são eficazes, mas requerem investimentos que muitas instituições não podem arcar. Como resultado, as escolas dependem de soluções mais simples e menos eficientes para a ventilação e controle da umidade, comprometendo a qualidade do ambiente educacional.

5.3 ANÁLISE EMISSÕES CO₂

O presente estudo de caso investigou uma obra pública que obteve a certificação ODS 21. A edificação abrange uma área total de 907 m², distribuída em salas destinadas a atividades extracurriculares, setor administrativo, cozinha, banheiros e auditório, conforme ilustrado na Figura 21. A estrutura foi concebida com alvenaria convencional de tijolos cerâmicos, sustentada por uma estrutura de concreto armado composta por lajes, vigas e pilares, sendo que aproximadamente 80% da fachada é revestida por uma película em vidro. Para a realização do estudo, os dados levantados foram multiplicados pelos fatores de conversão estabelecidos pelos autores citados na revisão bibliográfica. Esses fatores são usados para estimar emissões de dióxido de carbono CO₂.

Figura 21 - Planta baixa do Centro da Juventude



Fonte: A autora.

Os fatores de conversão dos principais materiais utilizados na análise foram definidos segundo Costa (2012). Posteriormente, procede-se à soma total das emissões de CO₂, demonstrando a emissão global da edificação de acordo com os materiais empregados, conforme apresentado na Equação 1. É importante ressaltar que Costa (2012) define os fatores de conversão em conformidade com a legislação brasileira, levando em consideração as características dos materiais e aspectos, como a proteção de matérias-primas, transporte, fabricação de produtos e as especificidades dos sistemas construtivos utilizados no Brasil.

$$Total\ CO_2\ emiss\tilde{a}o\ (toneladas\ de\ CO_2) = \sum_j [QT_j\ (em\ toneladas) \cdot CF] \quad Eq.\ 1$$

Onde:

$\sum_j$ representa o somatório das emissões de CO₂ para cada material "j" utilizado na construção.

QT_j é a quantidade total (em toneladas) do material "j" consumido durante a construção.

CF é o fator de conversão (em toneladas de CO₂ por tonelada de material) que expressa as emissões de CO₂ associadas à extração, transporte, fabricação e características do material "j", considerando o contexto brasileiro.

Portanto, para calcular as emissões totais de CO₂, basta multiplicar a quantidade total de cada material utilizado pelo seu fator de conversão correspondente e somar os resultados de todos os materiais. Essa metodologia permite quantificar as emissões de CO₂ desde a produção dos materiais até sua aplicação na obra, considerando as especificidades do setor da construção civil no Brasil.

A metodologia para a aplicação dos fatores de conversão, conforme apresentado na Tabela 11, consiste, inicialmente, em determinar quantitativamente a massa total dos materiais consumidos, de acordo com o serviço executado. Portanto para calcular as emissões totais de CO₂, é necessário multiplicar a quantidade total de cada material utilizado pelo seu respectivo fator de conversão e, em seguida, somar os resultados obtidos para todos os materiais. Essa abordagem permite uma avaliação

das emissões de CO₂ associadas à produção e aplicação dos materiais no contexto da construção civil brasileira.

Tabela 11 - Fatores de conversão dos principais materiais utilizados na análise segundo Costa (2012)

Material	Unidade	Fator de conversão (toneladas de CO₂ / toneladas de material fabricado)
Agregados	tonelada	0,086
Aço	tonelada	1,845
Concreto	m ³	0,370
Moldes de madeira	m ³	0,405
Painéis cimentícios	tonelada	0,491
Argamassa	tonelada	0,139
Ladrilhos e tijolos cerâmicos	tonelada	0,111
Pisos cerâmicos	m ³	0,187

Fonte: Adaptado de Costa (2012)

O levantamento foi realizado por meio de medições no local, seguido da transferência dos dados para o *software* AutoCAD e Revit, com o intuito de auxiliar na elaboração do quantitativo estimado. Para a realização do quantitativo da infraestrutura, foi conduzida uma análise da utilização de estacas moldadas in loco, com profundidade de 3 metros, como parte integrante da edificação. A quantidade média de concreto necessária para a infraestrutura é estimada em aproximadamente 0,10 m³ por metro quadrado de área construída, aplicável a sapatas e baldrames. Além disso, as taxas de consumo de aço para a infraestrutura em uma obra de um pavimento são em torno de 50 a 70 kg/m² (Botelho, 2004).

Para a superestrutura em concreto, a taxa de consumo de concreto é estimada em aproximadamente 0,23 m³ por metro quadrado de área construída, o que equivale a cerca de 230 kg/m² de concreto. Em relação à quantificação do vidro, um painel com espessura de 10 mm resulta em um peso de 2,5 kg/m². Para cada metro quadrado de contrapiso com espessura de 5 cm, são necessários aproximadamente 0,10 toneladas de concreto. No que diz respeito à alvenaria com tijolos blocos estruturais de dimensões 14x19x39 cm, estima-se que sejam necessárias cerca de 30 unidades por metro quadrado e para cada metro quadrado da infraestrutura, requer-se aproximadamente 0,046 toneladas de areia e 0,15 toneladas de brita (Botelho, 2004).

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 ANÁLISE CRÍTICA DOS SELOS AQUA-HQE *EDUCATION* E LEED *SCHOOLS*

Este capítulo será dedicado à análise crítica dos selos de certificação AQUA-HQE *Education* e LEED *for Schools*, com o objetivo de fornecer importantes *insights* acerca da eficácia dos métodos de avaliação promovidos por essas certificações em centros educacionais, enfatizando sua capacidade de minimizar os impactos ambientais associados à construção. É pertinente ressaltar que o sistema BREEAM não apresenta um selo específico voltado para edificações educacionais, o que limita sua aplicabilidade em relação a análise crítica.

6.1.1 GESTÃO DE ENERGIA

A categoria gestão de energia artificial no AQUA aborda a crescente demanda de energia e a pressão sobre os recursos naturais, uma preocupação ambiental de grande relevância. A subcategoria de gestão de energia do AQUA, referente à redução do consumo de energia primária e dos poluentes associados, enfatiza a relevância da eficiência energética ao limitar tanto o consumo quanto as emissões, a promoção de práticas sustentáveis, uma vez que a implementação de tecnologias eficientes pode resultar em significativas economias de energia e na diminuição da pegada de carbono. Além disso, a adoção de fontes renováveis e a modernização de sistemas energéticos existentes não apenas contribui para a mitigação das mudanças climáticas, mas também proporciona benefícios econômicos, como a redução dos custos operacionais e o aumento da competitividade no setor da construção civil.

A comparação com o LEED evidencia a ênfase deste último na gestão da energia, que atribui 33 pontos de um total de 110 para essa categoria. O LEED estabelece padrões mínimos de desempenho e otimização energética por meio de simulações computacionais abrangentes. A promoção de energias renováveis, destacada no LEED, incentiva tecnologias sustentáveis para compensar o consumo de energia. A instalação de sistemas de energias renováveis em edifícios, como painéis solares, turbinas eólicas e sistemas de aquecimento solar, é uma prática cada vez mais incentivada por certificações como o LEED. O selo também incentiva a utilização de tecnologias que promovam a eficiência energética e a redução do

consumo de água, além de estimular o uso de materiais sustentáveis e recicláveis na construção. Essa abordagem holística visa não apenas minimizar o impacto ambiental das edificações, mas também promover a saúde e o bem-estar dos ocupantes por meio da criação de ambientes internos mais saudáveis e confortáveis.

Embora ambos os sistemas incorporem simulações, o LEED se destaca pela ênfase na eficiência energética. Esse avanço é impulsionado por incentivos governamentais e pela facilitação no processo de compra e instalação dos sistemas fotovoltaicos. Tais medidas não apenas promovem a sustentabilidade nas edificações, mas também refletem uma crescente conscientização sobre a importância da energia renovável no combate às mudanças climáticas. Assim, o LEED se posiciona como uma ferramenta crucial para a promoção de práticas construtivas que visam a redução do consumo energético e a mitigação dos impactos ambientais associados. A Tabela 12 apresenta a relação entre os pré-requisitos e créditos do LEED com a subcategoria do AQUA em questão. Em síntese, ambos compartilham preocupações com emissões e energias renováveis, mas o LEED dedica mais atenção à eficiência energética geral.

Tabela 12 - Gestão de Energia

AQUA Education	LEED for schools
GESTÃO DA ENERGIA	ENERGIA E ATMOSFERA
Redução do consumo de energia primária e dos poluentes associados	Performance mínima de energia Otimização do desempenho energético Energias renováveis no local Energia verde

Fonte: Gestão da energia, AQUA Education e LEED for Schools, adaptado pela autora.

O Brasil tem experimentado um aumento significativo na adoção de energias renováveis, como painéis solares, aquecedores solares e equipamentos com selo Procel, que visam aumentar a eficiência energética. O Selo Procel, criado pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, é uma certificação que visa promover a eficiência energética no Brasil, orientando consumidores na escolha de produtos que consomem menos energia elétrica. Os produtos que recebem o Selo Procel são submetidos a rigorosos testes em laboratórios credenciados, assegurando que atendem a critérios específicos de eficiência. Essa certificação não apenas ajuda os consumidores a economizar nas contas de eletricidade, mas também contribui para a diminuição das emissões CO₂, colaborando para a sustentabilidade ambiental.

Nas certificações LEED *for School* e AQUA-HQE *Education*, é exigido que as edificações adotem dispositivos que promovam a economia de energia, como dimerizadores e sistemas automatizados. Nos países de origem dessas certificações, a automação é uma realidade consolidada, integrando sensores e temporizadores que minimizam o desperdício energético. Além disso, é solicitado que a matriz energética utilizada seja sustentável, incorporando fontes renováveis, como painéis solares, turbinas eólicas ou biodigestores. Essas práticas não apenas contribuem para a eficiência energética, mas também promovem uma gestão responsável dos recursos naturais, alinhando-se aos princípios de sustentabilidade e inovação exigidos por essas certificações.

A implementação dos parâmetros de eficiência energética das certificações LEED *for School* e AQUA-HQE *Education* a realidade brasileira revela desafios significativos, especialmente no que se refere à automação e ao uso de tecnologias como dispositivos de controle. Embora esses sistemas sejam amplamente utilizados e considerados padrão em países desenvolvidos, onde a automação é uma realidade consolidada, no Brasil, a adoção dessas tecnologias ainda enfrenta barreiras financeiras. O custo elevado dos dispositivos automatizados e a falta de incentivos governamentais para escolas estaduais e municipais tornam a implementação dessas soluções menos acessível para a maioria dos empreendimentos educacionais.

6.1.2 GESTÃO DA ÁGUA

Ambos os sistemas de certificação AQUA-HQE *Education* e LEED *School* demonstram atenção a gestão de ÁGUA; no entanto, o LEED apresenta propostas mais específicas em comparação ao AQUA, uma vez que exige como item obrigatório a redução do uso de água, especialmente em relação ao paisagismo. Essa abordagem inclui a implementação de tecnologias inovadoras para o tratamento de águas residuais e a redução do consumo hídrico. Assim, o LEED não apenas promove práticas sustentáveis, mas também estabelece diretrizes claras para a gestão eficiente dos recursos hídricos nas edificações, contribuindo para a mitigação dos impactos ambientais associados ao uso excessivo de água.

Conforme evidenciado na Tabela 13, observa-se que a categoria em destaque do AQUA-HQE concentra-se na redução do consumo de água potável, enfatizando a utilização de águas não potáveis, como as pluviais, para descargas e irrigação de hortas quando implementadas em obras. Para alcançar essa eficiência hídrica, são propostas soluções econômicas, como a implementação de sistemas de dupla descarga em bacias sanitárias. Essa abordagem não apenas promove a conservação dos recursos hídricos, mas também contribui para a sustentabilidade das edificações, alinhando-se às diretrizes do AQUA e às melhores práticas de gestão hídrica.

Tabela 13 - Gestão da água de AQUA education x LEED for schools

AQUA Education	LEED for schools
GESTÃO DA ÁGUA	USO EFICIENTE DA ÁGUA
Redução do consumo de água potável	Redução do uso de água - Uso eficiente de água para paisagismo. Tecnologias inovadoras de águas residuais. Redução do uso da água.
	Processo de redução do uso da água.

Fonte: Gestão de água, AQUA Education e LEED Schools, adaptado pela autora, 2023.

A realidade brasileira enfrenta desafios significativos em relação à gestão hídrica, com uma taxa de perdas na distribuição de água que alcança 37,8%, dificultando o acesso a esse recurso essencial para milhões de cidadãos. Nesse contexto, a promoção do uso eficiente da água, especialmente para paisagismo, torna-se cada vez mais crítica, considerando a crescente demanda por recursos hídricos. Tecnologias inovadoras, como a captação de águas pluviais e sistemas de reuso de águas residuais, são essenciais para mitigar o desperdício e promover a sustentabilidade (ANEEL, 2019).

Na certificação LEED School e no AQUA-HQE Education, é necessário que as edificações implementem dispositivos que promovam a eficiência hídrica. Isso inclui a instalação de torneiras equipadas com arejadores, sistemas automáticos de controle de fluxo, válvulas que economizam água e dispositivos que monitoram o consumo hídrico. Além disso, a coleta de água da chuva para uso em descargas de banheiros é uma prática exigida. As certificações também exigem a realização de treinamentos voltados para a gestão eficiente da água, visando conscientizar os usuários sobre a importância da conservação hídrica. Essas diretrizes não apenas contribuem para a redução do consumo de água, mas também promovem uma cultura de

sustentabilidade e responsabilidade ambiental nas instituições educacionais.

As normas LEED *for School* e AQUA-HQE *Education*, embora exijam a implementação de medidas de eficiência hídrica, são adaptáveis à realidade brasileira e não representam um ônus financeiro excessivo. A instalação de torneiras equipadas com arejadores, sistemas automáticos de controle de fluxo e válvulas que economizam água são intervenções relativamente simples e de baixo custo, capazes de gerar um impacto significativo na redução do consumo hídrico. A coleta de água da chuva para uso em descargas sanitárias é uma prática viável em diversas regiões do Brasil, especialmente nas áreas com maior índice pluviométrico. Além disso, a utilização de vasos sanitários com caixa acoplada e sistemas de descarga com acionamento duplo contribui para a economia de água.

Os treinamentos voltados para a gestão eficiente da água são igualmente relevantes, pois promovem a conscientização dos usuários e podem ser implementados de maneira prática, utilizando recursos disponíveis nas instituições educacionais. Dessa forma, as diretrizes estabelecidas pelas certificações LEED e AQUA podem ser efetivamente integradas ao contexto brasileiro, favorecendo a sustentabilidade e a conservação dos recursos hídricos.

6.1.3 QUALIDADE DO AMBIENTE INTERNO

Dentre as subcategorias das certificações LEED *for School* e AQUA-HQE *Education*, os dados apresentados na Tabela 14 evidenciam a importância da permanência do desempenho dos sistemas de ventilação. Enquanto o LEED enfatiza a qualidade do ar interno, garantindo um ambiente agradável, o AQUA concentra-se em medidas que asseguram a eficácia dos sistemas de ventilação.

Tabela 14 - Item do LEED que se relaciona com a subcategorias do AQUA na categoria de qualidade do ar

<i>AQUA Education</i>	<i>LEED for schools</i>
DESEMPENHO AMBIENTAL	QUALIDADE DO AMBIENTE INTERNO
Permanência do desempenho dos sistemas de ventilação	Qualidade mínima do ar interno

Fonte: AQUA *Education* e LEED *Schools*, Dados adaptado pela a Autora, 2024.

Ambos os sistemas compartilham uma preocupação comum com a qualidade do ar, mas diferem em suas abordagens: o LEED *for Schools* prioriza a criação de ambientes confortáveis, enquanto o AQUA-HQE *Education* foca na manutenção do desempenho dos sistemas de ventilação. Assim, a qualidade mínima do ar interno é um critério fundamental para ambas as certificações, refletindo seu compromisso com a saúde e o bem-estar dos ocupantes.

A análise comparativa entre as certificações LEED *for School* e AQUA-HQE *Education* revela que ambas priorizam a eficiência dos sistemas de ventilação. A certificação LEED estabelece requisitos para assegurar que os ambientes internos sejam saudáveis e confortáveis para os ocupantes. Em contrapartida, o AQUA-HQE enfatiza a permanência do desempenho dos sistemas de ventilação, utilizando tecnologias como o ar central, que opera por meio de um sistema mecânico de renovação do ar interno. Outro sistema relevante é o dos poços canadenses, projetados para captar e distribuir ar fresco de maneira natural, proveniente da área externa. Este ar é direcionado através de dutos subterrâneos que reduzem sua temperatura antes de ser distribuído para os ambientes internos.

No Brasil o uso de sistemas de exaustão forçada para a renovação do ar interno é relativamente raro. A única regulamentação vigente que aborda a qualidade do ar interno é a NBR 17037 (2023), que estabelece requisitos para ambientes climatizados artificialmente, definindo padrões para diversos parâmetros essenciais, como temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do ar, concentração de poluentes e níveis de ruído. Contudo, a fiscalização e o cumprimento dessas diretrizes ainda se mostram limitados, uma vez que a ausência de supervisão consistente e a falta de recursos adequados dificultam sua aplicação efetiva.

A implementação de sistemas de renovação de ar mecânica na realidade brasileira não se alinha às condições práticas, especialmente nas escolas estaduais e municipais, onde os custos elevados e as tradições construtivas limitam a adoção de tecnologias avançadas. Embora existam alternativas viáveis, como ventiladores de teto e aberturas estratégicas para ventilação natural, a realidade orçamentária das instituições educacionais frequentemente inviabiliza a incorporação dessas soluções.

6.1.4 CONFORTO HIGROTÉRMICO

A análise da relação entre o conforto higrotérmico nas certificações LEED *School* e AQUA-HQE *Education*, conforme evidenciado na Tabela 15, demonstra que o AQUA se destaca ao considerar medidas arquitetônicas específicas para otimizar o conforto térmico ao longo das diferentes estações do ano, levando em conta as características climáticas locais. Nesse contexto, o AQUA visa aprimorar a adaptação das edificações às condições de conforto higrotérmico, promovendo o dimensionamento adequado das superfícies envidraçadas e a implementação de proteções solares sazonais. Por sua vez, o LEED enfatiza a criação de ambientes agradáveis e sustentáveis, priorizando a eficiência energética e a qualidade do ar interno. Ambas as certificações compartilham o objetivo comum de garantir o bem-estar dos ocupantes, mas diferem em suas abordagens e estratégias para alcançar esse resultado, refletindo as particularidades e exigências do contexto em que são aplicadas.

Tabela 15- Conforto do ambiente interno entre Aqua Education x LEED for Schools	
AQUA Education	LEED for schools
CONFORTO HIGROTÉRMICO	QUALIDADE DO AMBIENTE INTERNO
Implementação de medidas arquitetônicas para otimização do Conforto higrotérmico de verão e inverno	Controle dos sistemas
Criação de condições de conforto higrotérmico de inverno	
Criação de condições de conforto higrotérmico de verão e ambientes	
Fonte: AQUA Education e LEED for Schools, Dados adaptados pela autora, 2024.	

O selo AQUA-HQE *Education* reconhece a importância do conforto higrotérmico, entendido como a sensação de bem-estar relacionada à temperatura e umidade do ar, para o desempenho acadêmico e a saúde de estudantes e professores. Para assegurar esse conforto, a norma incentiva a adoção de medidas arquitetônicas que otimizem o desempenho térmico das edificações, especialmente em relação às condições climáticas de verão e inverno. Materiais como lã de rocha, fibra de vidro e espumas são amplamente utilizados nos países de origens destes

selos. Além disso, o isolamento térmico evita a perda de calor para o ambiente externo, garantindo que o interior da edificação permaneça aquecido durante os meses frios. A utilização de materiais isolantes adequados, janelas com vidros duplos e sistemas de aquecimento eficientes como a calefação é essencial para proporcionar conforto térmico no inverno.

O sistema *LEED for Schools* enfatiza a gestão de sistemas eletrônicos, incluindo desumidificadores e climatizadores que incorporam mecanismos de renovação do ar interno, com o objetivo de regular a temperatura e garantir a qualidade do ar nos ambientes escolares. A automação dos sistemas de conforto higrotérmico promove uma gestão eficiente das condições ambientais. Dentre os dispositivos utilizados para a renovação do ar, destacam-se os insufladores, que captam e filtram o ar externo antes de introduzi-lo no ambiente interno, e os sistemas HVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado), que asseguram uma ventilação adequada, mantendo a qualidade do ar em níveis saudáveis.

No Brasil, a norma NBR 17037 (2023) - conforto higrotérmico, estabelece limites mínimos e máximos adequados para a temperatura e níveis ideais de umidade relativa do ar, visando garantir o conforto térmico. No entanto, essa abordagem não se alinha ao selo *AQUA-HQE Education*, que exige a utilização de materiais de construção que contribuem para a redução da umidade e o controle da temperatura interna, como isolantes aplicados em paredes e telhados.

Em contrapartida, o *LEED for Schools* requer a adoção de sistemas mecânicos, incluindo desumidificadores, termostatos e sistemas de ar centralizados, que auxiliam na regulação tanto da umidade quanto da temperatura. Essa divergência nas abordagens reflete as distintas estratégias adotadas por cada certificação para promover ambientes internos saudáveis e confortáveis. Além disso, é importante ressaltar que esses sistemas mecânicos costumam apresentar custos elevados no Brasil, tornando-se inviáveis principalmente para escolas estaduais e municipais.

Pode-se concluir que, em relação ao conforto térmico conforto higró térmico, acústico e lumínico, bem como à gestão da água, a realidade brasileira não se adapta plenamente às exigências dos selos de sustentabilidade. A utilização de materiais que auxiliam na redução da umidade, na desumidificação e na diminuição da temperatura interna do ambiente, além da implementação de sistemas de renovação de ar forçado e automação, ainda é uma realidade distante para muitas escolas brasileiras.

6.2 ANÁLISE CRÍTICA DAS CERTIFICAÇÕES LEED, AQUA E BREEAM E A REALIDADE BRASILEIRA, MATERIAIS E MÉTODOS CONSTRUTIVOS

Este estudo realiza uma avaliação crítica das certificações LEED, AQUA-HQE e BREEAM, com foco nos materiais e métodos construtivos empregados. Essas certificações impactam a indústria da construção civil ao promover o uso de materiais sustentáveis e técnicas construtivas avançadas. A análise visa determinar a adequação dessas práticas no contexto brasileiro, explorando as especificidades de cada certificação.

O LEED enfatiza a importância de utilizar madeira certificada pelo *Forest Stewardship Council* (FSC), que assegura práticas de manejo florestal responsável e contribui para a redução do desmatamento. Essa certificação também valoriza o emprego de materiais com emissões reduzidas de gases tóxicos, como tintas e adesivos, que diminuem a liberação de compostos orgânicos voláteis (COVs) e melhoram a qualidade do ar interior.

A certificação AQUA destaca-se pela priorização de vidros com controle solar, uma estratégia eficaz para diminuir a entrada de calor nos edifícios e, conseqüentemente, reduzir a necessidade de climatização, o que leva a uma significativa economia de energia. Além disso, essa certificação valoriza a adoção de sistemas de iluminação de alta eficiência e tecnologias de automação predial, que não só potencializam a economia energética, como também elevam o padrão de conforto nos ambientes construídos.

No âmbito da certificação BREEAM, destaca-se a promoção do uso de materiais com baixa emissão de CO₂, provenientes de fornecedores locais. Essa abordagem não apenas minimiza os impactos ambientais associados ao transporte, mas também contribui para o desenvolvimento econômico regional. Além disso, a BREEAM valoriza a utilização de materiais naturais, recicláveis e ecológicos. Exemplos incluem materiais de isolamento como lã de ovelha, fibra de celulose, fibra de cânhamo e fibra de coco, que se apresentam como alternativas viáveis aos isolantes tradicionais. Esses materiais não apenas possuem menor impacto ambiental, mas também oferecem vantagens significativas em termos de sustentabilidade em comparação com os isolantes sintéticos amplamente utilizados no setor da construção.

Já no Brasil, a indústria da construção civil depende fortemente de cimento e

aço, materiais cuja produção e transporte são grandes fontes de emissão de CO₂. Destaca-se a calcinação do calcário no processo de fabricação do cimento, que libera cerca de 0,78 tonelada de CO₂ por tonelada de clínquer produzido, representando um desafio ambiental significativo. Além disso, a construção convencional no país utiliza predominantemente alvenaria, com tijolos cerâmicos e concreto. Essa abordagem, apesar de oferecer robustez estrutural, leva a um alto consumo de recursos e gera consideráveis resíduos, desde sobras de materiais até detritos de demolição, levantando preocupações sobre sua sustentabilidade ambiental.

Em contraste com métodos tradicionais, técnicas de construção sustentáveis como *Light Steel Frame*, *Wood Frame* e *Light Wall* são internacionalmente reconhecidas por sua eficiência e redução de desperdício de materiais, sendo adotadas em certificações como LEED, AQUA-HQE e BREEAM. Essas tecnologias permitem montagem rápida e geram menor impacto ambiental. No entanto, no Brasil, a adoção dessas práticas inovadoras enfrenta barreiras significativas devido aos altos custos e à preferência persistente por métodos construtivos tradicionais, o que reflete uma resistência tanto cultural quanto econômica.

Adicionalmente, a necessidade de revisão das práticas construtivas é urgente, visando a adoção de alternativas que proporcionem maior eficiência no uso de recursos e uma redução nos impactos ambientais. Neste sentido, a Política Nacional de Resíduos Sólidos e a Resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) estabelecem diretrizes claras para o manejo adequado de resíduos, buscando minimizar os danos ambientais e fomentar a sustentabilidade. Em contraste, em países onde as certificações LEED, AQUA-HQE e BREEAM são originárias, a prática de construção predominante envolve sistemas pré-fabricados, que notavelmente reduzem a quantidade de desperdício gerado.

Esta realidade sublinha a necessidade de reformas estruturais significativas nas práticas de construção civil no Brasil. É essencial adaptar métodos que não apenas atendam aos padrões internacionais de eficiência e sustentabilidade, mas que também estejam em conformidade com as normativas ambientais vigentes e respondam às demandas contemporâneas por construções mais sustentáveis. A Tabela 16, que apresenta um levantamento sobre a viabilidade das certificações LEED, AQUA e BREEAM para o contexto brasileiro, evidenciando essas considerações.

Tabela 16 - Levantamento de viabilidade das certificações LEED, AQUA e BREEAM para a realidade brasileira

CERTIFICAÇÃO	LEED	AQUA	BREEAM	BRASIL
MATERIAIS	Madeira certificada: a utilização de madeira certificada pelo <i>Forest Stewardship Council</i> (FSC) Produtos de baixa emissão de gases tóxicos: materiais como tintas, vernizes e adesivos de baixa emissão de compostos orgânicos voláteis (COVs) Telhas de Borracha (<i>Rubber Shingles</i>): Feitas de materiais reciclados, como pneus de borracha.	Vidro com controle solar (INSULADO), vidro de baixa emissividade. Esse tipo de vidro é projetado para reduzir a quantidade de calor solar que entra em um edifício, ajudando a controlar a temperatura interna e reduzir a carga de resfriamento. Luminárias e lâmpadas de alta eficiência Energética; Sistemas de controle e automação avançados. Madeira certificados pelo <i>Forest Stewardship Council</i> (FSC);	Produtos de baixa emissão de CO₂, preferência por fornecedores locais para reduzir as emissões do transporte. O uso de materiais naturais, recicláveis ou <i>eco-friendly</i>. Materiais de isolamento, como lã de ovelha, fibra de celulose, fibra de cânhamo e fibra de coco, são <i>eco-friendly</i> por serem renováveis e possuírem menor impacto ambiental em comparação com isolantes sintéticos.	No Brasil, é comum utilizar tijolo cerâmico na construção, assim como cimento e argamassa. Quanto ao cimento e à argamassa, a dosagem adequada é essencial para garantir a resistência e a durabilidade das estruturas. Normas e regulamentações que incentivem o uso eficiente dos recursos naturais, como o Selo Procel de Economia de Energia.
MÉTODOS CONSTRUTIVOS:	<i>Frame</i> e o <i>SteelFrame</i>. O <i>Wood Frame</i>, também conhecido como construção em estrutura de madeira, utiliza peças de madeira como principal componente estrutural do edifício. O	Na construção francesa. Ele envolve o uso de blocos de concreto para construir paredes e estruturas. Concreto armado: O concreto armado é um sistema construtivo muito	Práticas sustentáveis e a considerarem o ciclo de vida completo do edifício, desde a sua concepção até a operação, para minimizar o impacto ambiental e promover a eficiência energética, o uso	Blocos ou tijolos, de cerâmica ou concreto, para a construção de paredes e estruturas. É uma técnica antiga e amplamente utilizada em todo o país, tanto em construções. Embora os módulos pré-

Steel Frame, por sua vez, utiliza perfis de aço galvanizado como estrutura principal. Essa técnica construtiva é amplamente utilizada em países como os Estados Unidos, Austrália e Canadá. utilizado na França. Ele envolve o uso de uma estrutura de aço reforçado combinada com concreto, criando uma estrutura resistente e durável. responsável de recursos e o conforto dos ocupantes. O aço estrutural pode ser frequentemente usado em construções certificadas pelo selo BREEAM. fabricados geralmente incluem as estruturas principais da construção, como as paredes estruturais, as paredes não estruturais podem ser construídas em alvenaria

Fonte: Tabela desenvolvida pela autora, 2024.

6.3 A ANÁLISE DO CENTRO DA JUVENTUDE EM RELAÇÃO AOS CRITÉRIOS DE SUSTENTABILIDADE

Para avaliar a conformidade do Centro da Juventude com os princípios de sustentabilidade estabelecidos pelos selos *AQUA Education* e *LEED for Schools*, foram realizadas medições dos níveis de iluminância, ruído e ventilação. O objetivo dessas medições foi verificar a adequação às normas vigentes. As médias dos parâmetros em questão foram obtidas em três dias distintos, caracterizados por condições climáticas variadas: chuvoso, ensolarado e seco. Essas medições também consideraram um dia específico marcado por altos níveis de ruído devido a eventos como festas juninas e a chegada do Papai Noel. Para a coleta de dados, foram empregados instrumentos de medição da AKSO, adequados para a área de arquitetura. Os equipamentos utilizados incluíram luxímetros, decibelímetros, termo-higrômetros e anemômetros. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 – Média dos níveis de iluminância, ruído e ventilação nos ambientes do CJ

	Lux Média	Db (A) Média	Ventilação m/s Média	RH % Média
Sala de dança	107	53,2	0,14	45,2
Sala de informática	141	59	0,10	44,7
Sala de artes	119	57,1	0,13	41,3
Banheiros	104	64,7	0,10	64,6
Banheiro PCD	80	62,4	0,17	40,2
Cozinha	130	63,7	0,16	63,9
Auditório	105	52,5	0,25	47

Fonte: A autora, 2024.

A análise dos níveis de iluminância, ruído e ventilação no Centro da Juventude revelou resultados em desacordo com as normas brasileiras. Os índices de iluminância estavam inferiores aos 200 lux estipulados pela NBR 5413 (2012), afetando na qualidade de aprendizado, enquanto os níveis de ruído não podem ultrapassar 50 dB (A), superando os limites recomendados pela NBR 10152 (2000). Além disso, as velocidades de ventilação natural não atingiram o intervalo ideal de 0,4 a 0,75 m/s e a umidade do ar estava abaixo do recomendado pela Organização

Mundial da Saúde (OMS), que é entre 50% e 60%. Esses dados evidenciam a necessidade de melhorias nos ambientes analisados para atender aos padrões estabelecidos por essas normas e às exigências de sustentabilidade.

A análise da iluminação nos ambientes do Centro da Juventude indica que melhorias são necessárias, especialmente por meio da instalação de esquadrias nos banheiros e da substituição das lâmpadas por aquelas com Índice de Reprodução de Cor (IRC) superior a 80, o qual ajudará nas atividades extracurriculares obtendo um padrão de cor sem distorção de tonalidade. Recomenda-se uma iluminância de 500 lux para atividades de leitura e escrita, assegurando condições adequadas para o desempenho acadêmico dos alunos. Além disso, um IRC superior a 80 é essencial para garantir que as cores sejam vibrantes e realistas, e as especificações estão descritas na embalagem do fabricante. A temperatura de cor das fontes de luz deve ser mantida entre 4000K e 5000K, conforme as diretrizes estabelecidas para ambientes educacionais das certificações *LEED for School* e *AQUA-HQE Education*.

Os níveis de pressão sonora no centro educacional estão acima dos limites permitidos, o que demanda uma melhoria nas medidas de controle acústico. As certificações *LEED for School* e *AQUA-HQE Education* recomendam o uso de materiais como lã de rocha, fibra de vidro, espuma acústica, feltro, cortiça, madeira tratada e painéis acústicos para otimizar o ambiente acústico. A instalação de vidros duplos também é eficaz na redução do ruído externo.

A ventilação cruzada deve ser orientada para as aberturas localizadas no nordeste, permitindo a circulação eficiente do ar através do edifício até sua extremidade oposta. Um sistema adicional relevante, empregado nas certificações *LEED for School* e *AQUA-HQE Education*, é o dos poços canadenses, que captam e distribuem ar fresco de maneira natural, onde o duto insuflamento direciona o ar fresco por meio de dutos subterrâneos, o qual a sua temperatura é reduzida antes de ser distribuído pelo ambiente, promovendo a dissipação do ar. Contudo, a adoção de alternativas viáveis, como ventiladores de teto e aberturas estratégicas para ventilação natural, pode oferecer soluções com menor custo para edifícios públicos.

No que se refere à umidade, o Centro da Juventude poderia implementar melhorias significativas. A introdução de umidificadores mecânicos constitui uma solução eficaz para a manutenção de níveis adequados de umidade em ambientes internos. Estes dispositivos operam por meio de mecanismos como evaporação, nebulização ou vaporização, permitindo a adição controlada de umidade ao ar.

6.4 QUANTITATIVO - EMISSÕES DE CO₂ CENTRO DA JUVENTUDE

O levantamento foi realizado por meio de medições *in loco*, seguido pela transferência dos dados para os *softwares* AutoCAD e Revit. Essa abordagem possibilitou a estimativa da infraestrutura e superestrutura, com o intuito de auxiliar na elaboração do quantitativo estimado, conforme as tabelas apresentadas nos Anexos A1 até A7, que foram obtidas do Revit. Além disso, foi realizada a modelagem tridimensional no Revit, conforme ilustrado na Figura 22. Para a quantificação da infraestrutura, foi conduzida uma análise da utilização de estacas moldadas *in loco*, com profundidade de 3 metros, como parte integrante da edificação.

Figura 22 – Fachada frontal (a); Fachada posterior (b).

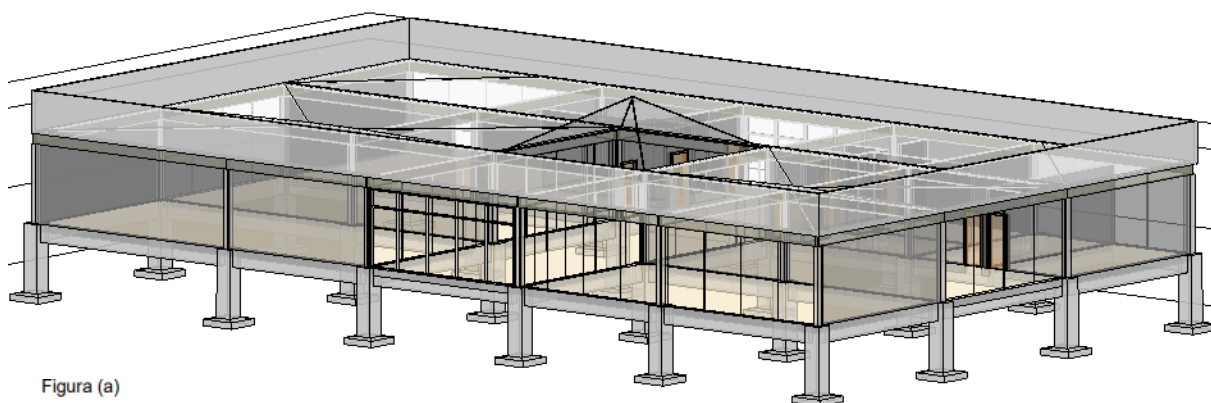


Figura (a)

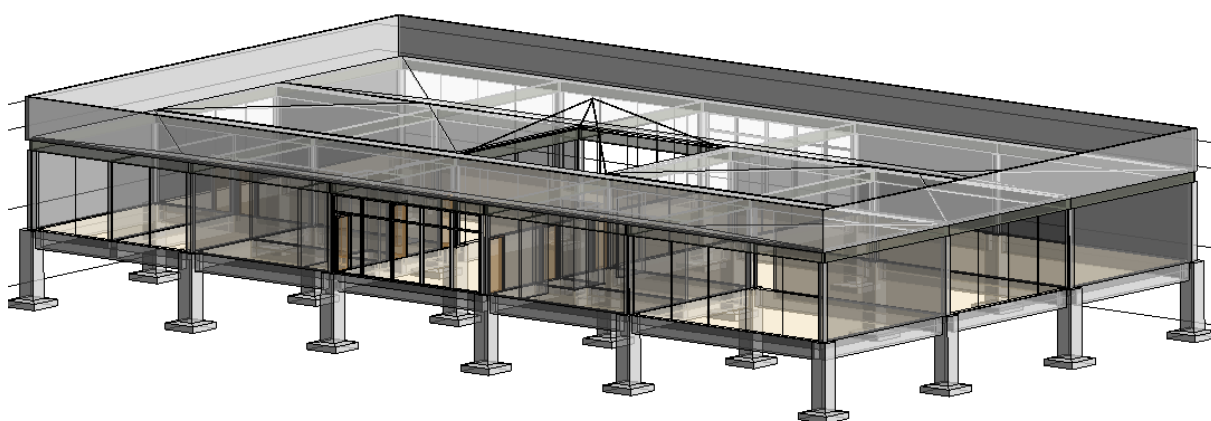


Figura (b)

Fonte: Autora, 2024.

Para realizar os cálculos, considerou-se que o peso médio da alvenaria que varia entre 500 kg/m² e 700 kg/m², sendo constituído de concreto, cujo peso específico médio é de 25 kN/m³. A densidade média da brita é aproximadamente 1,5 t/ m³, enquanto a areia apresenta uma densidade de 1,8 t/m³. Além disso, a quantidade de aço utilizada é de 100 kg/m³ de acorcor com os dados da Tabela18 (Botelho, 2004).

Tabela 18 – Quantitativo materias em toneladas

Objeto do estudo	Quantidade de material	Peso médio	Peso total
Alvenaria	554m ²	500 kg/m ²	277 toneladas
Baldrames	21,46 m ³	2.500 kg/m ³	53,65 toneladas
Estacas	40,89 m ³	2.500 kg/m ³	102,22 toneladas
Vigas	33,9 m ³	2.500 kg/m ³	84,75 toneladas
Contrapiso	60,62 m ³	2.500 kg/m ³	151,55 toneladas
Laje	89 m ³	2.500 kg/m ³	222,51 toneladas
Vidros	221m ²	2,5 kg/m ²	5,52 toneladas
Aço infraestrutura	30,3 m ³	100 kg/m ³	3,03 toneladas
Aço superestrutura	41,8 m ³	100 kg/m ³	4,18 toneladas
Brita	55,4 m ³	1,5 t/ m ³	83,01 toneladas
Areia	38,78 m ³	1,8 t/ m ³	69,80 toneladas
Pisos cerâmicos	83 m ³	1,47 t/m ³	121,01 toneladas

Fonte: Autora, 2024.

A determinação quantitativa dos materiais por estimativa foi realizada em conformidade com as especificidades de cada etapa do processo construtivo. Na fase de infraestrutura, foram empregadas estacas moldadas *in loco*, com profundidade de 3 metros. A quantidade média de concreto necessária foi estimada para a alvenaria convencional e para as lajes em estrutura de aço leve. A análise da superestrutura abrangeu pilares, vigas e lajes, enquanto os elementos de vedação e revestimento utilizaram tijolos cerâmicos e vidro, além de contrapiso e cerâmicas. Para calcular as emissões totais de CO₂, procede-se à multiplicação da quantidade total de cada material pelo seu respectivo fator de conversão. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 -Quantitativo de materiais e emissão de CO₂ em alvenaria convencional

	Materiais	Unidade	Quantidade	Conversão Segundo Costa (2012)	CO₂ Emissão (tonelada)
	Agregados gráúdos (brita)	tonelada	83,1	0,086	7,13
	Agregados Miúdos (areia)	tonelada	69,804	0,086	6,00
Infraestrutura	Aço	tonelada	3,03	1,845	5,59
	Concreto	m ³	86,25	0,370	31,98
Superestrutura	Concreto Superestrutura	m ³	122	0,370	45,14
	Alvenaria	tonelada	277	0,111	30,74
Contrapiso	Contrapiso Concreto	m ³	60,62	0,197	11,95
	Pisos cerâmicos	m ³	83	0,187	15,56
Fechamento	Vidro	tonelada	5,525	0,33	1,820
	Reboco+emboco+ alvenaria	tonelada	52,49	0,139	7,283
Teto	Estrutura de aço	tonelada	2,939	1,845	5,42
	Laje + inclinada Concreto	tonelada	83,75	0,370	30,96
Emissão total de CO ₂					185,21

Fonte: A autora, 2024.

Para realizar a simulação da mesma obra utilizando o sistema construtivo *Light Steel Frame*, foi mantida a base de infraestrutura da alvenaria convencional, alterando-se, no entanto, a superestrutura, que emprega exclusivamente aço como material estrutural e placas cimentícias, conforme apresentado na Tabela 20. Para calcular a quantidade de placas cimentícias necessárias por metro quadrado, estima-se um consumo aproximado de 0,0111 toneladas por m². Além disso, para determinar a quantidade de aço requerida em uma estrutura térrea com o sistema *Light Steel Frame*, considera-se uma taxa de consumo estimada em 20 kg/m² da área construída, conforme indicado por Azevêdo (2018).

Tabela 20- Quantitativo de materiais e emissão de CO₂ em *Light Steel Frame*

	Materiais	Unidade	Quantidade	Conversão	CO₂ Emissão (tonelada.)
	Agregados gráúdos (brita)	tonelada	83,1	0,086	7,13
	Agregados Miúdos (areia)	tonelada	69,80	0,086	6,00
Infraestrutura	Aço	tonelada	3,03	1,845	5,59
	Concreto	m ³	86,25	0,370	31,98
Superestrutura	Estrutura de aço	tonelada	9,22	1,845	17,014
	Placa cimentícia	tonelada	1,84	0,162	0,29
Contrapiso	Contrapiso Concreto	m ³	60,62	0,197	11,95
	Pisos cerâmicos	m ³	83	0,187	15,56
Fechamento	Vidro	tonelada	5,52	0,33	1,82
	Laje Em Placa cimentícia	tonelada	2,07	0,162	0,33
Teto	Estrutura de aço	tonelada	2,93	1,845	5,42
	Laje + inclinada Placa cimenticia	tonelada	1,98	0,370	0, 73
Emissão total de CO ₂					101,86

Fonte: A autora,2024.

Para a simulação da construção utilizando o sistema *construtivo Light Wood Frame*, considera-se a alteração da superestrutura, na qual a alvenaria é substituída por placas de OSB, integradas a uma estrutura de madeira de eucalipto proveniente de reflorestamento, conforme a Tabela 21. A densidade da madeira de eucalipto é estimada em 600 kg/m³, considerando os elementos estruturais como pilares, feixes, lintéis e vigas e o OSB substituirá o fechamento da alvenaria tradicional em tijolo cerâmico (Azevêdo, 2018).

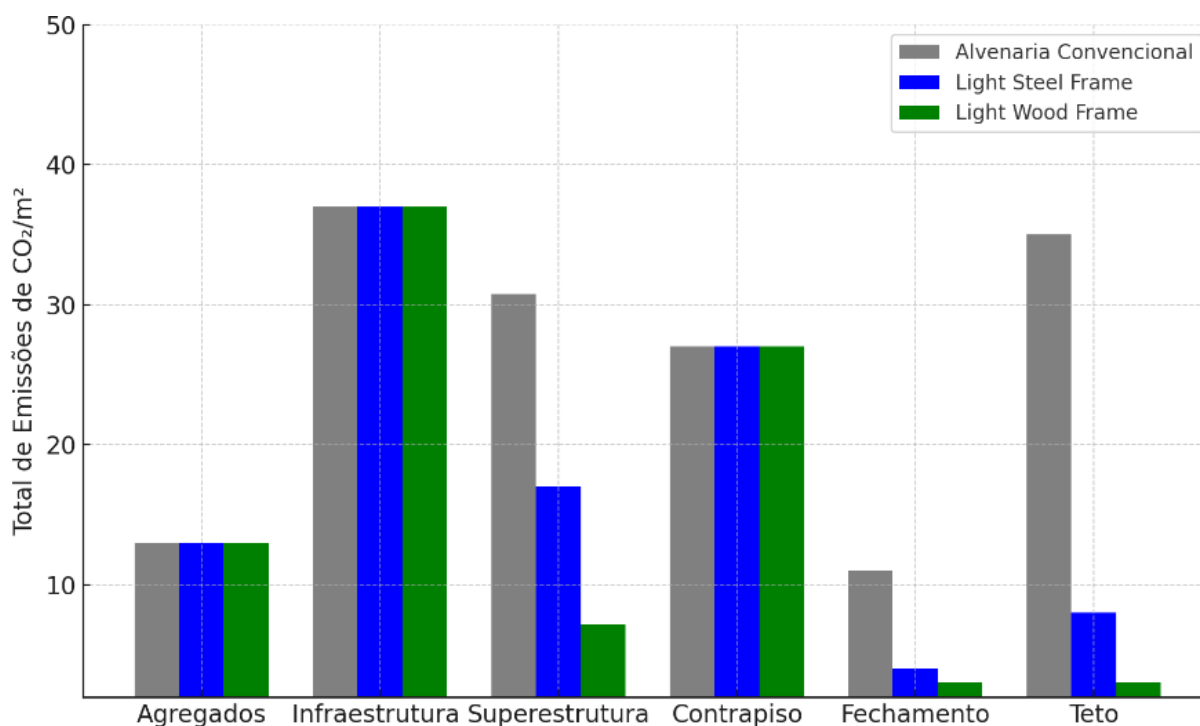
Tabela 21- Quantitativo de materiais e emissão de CO₂ em *Light wood frame*

	Materiais	Unidade	Quantidade	Conversão	CO₂ Emissão (tonelada)
	Agregados gráúdos (brita)	tonelada	83,1	0,086	7,13
	Agregados Miúdos (areia)	tonelada	69,804	0,086	6,00
Infraestrutura	Aço	tonelada	3,03	1,845	5,59
	Concreto	m ³	86,25	0,370	31,98
Superestrutura	Estrutura de madeira	m ³	25,7	0,280	7 ,19
	Placa OSB	m ³	4,07	0,331	1,34
Contrapiso	Contrapiso Concreto	m ³	60,62	0,197	11,95
	Pisos cerâmicos	m ³	83	0,187	15,56
Teto	Estrutura de madeira	m ³	4,0089	0,405	1,62
	Laje substitui em Placa OSB	tonelada	7,058	0,162	1,14
Fechamento	Vidro	tonelada	2,86	0,33	0,94
	Laje inclinada em Placa OSB	tonelada	2,426	0,162	0,49
Emissão total de CO ₂					89,45

Fonte: A autora, 2024.

A análise do Gráfico 1 demonstra a emissão de CO₂ em toneladas, referente à construção de uma estrutura de 907 m², utilizando três sistemas construtivos distintos: alvenaria tradicional, *Light Steel Frame* e *Light Wood Frame*. Os dados revelam que a alvenaria tradicional apresenta a maior emissão de CO₂ 185 toneladas, seguida pelo *Light Steel Frame* 101 toneladas e, por fim, pelo *Light Wood Frame* 89 toneladas. Esses resultados evidenciam a influência significativa da escolha do sistema construtivo nas emissões de CO₂, sendo o *Light Wood Frame* a opção que demonstra menor impacto ambiental. O diferencial do sistema *Light Wood Frame* reside na utilização de madeira na superestrutura e painéis OSB no fechamento, o que contribui para a redução da emissão de gases de efeito estufa em comparação aos demais sistemas analisados. A análise evidencia que o principal fator contribuinte para as emissões de CO₂ nos sistemas construtivos tradicionais é o uso do cimento, material com alta demanda energética em sua produção.

Gráfico 1- Análise comparativa quantitativo de materiais em alvenaria, *Light Steel Frame* e *Light Wood Frame* em relação à emissão de CO₂.



Fonte: A autora, 2024.

A infraestrutura básica foi utilizada de forma semelhante nos três sistemas construtivos; no entanto, os agregados empregados se mativeram constante visto que fazem parte da infra-estrutura, a qual semantive igual nos três sistemas analisados. A alvenaria consome uma quantidade maior de materiais para o assentamento de tijolos, enquanto o *Steel Frame* utiliza predominantemente placas cimentícias, e o *Wood Frame* é essencialmente constituído por madeira de reflorestamento. A superestrutura na alvenaria tradicional, que se baseia no concreto armado, emite uma quantidade significativa de CO₂. Em contraste, a superestrutura do *Wood Frame* é composta basicamente por madeira de reflorestamento e placas OSB. A diferença substancial entre os sistemas de fechamento em alvenaria, placas cimentícias e OSB, permite concluir que os maiores emissores de gases são os agregados e o cimento. Essa análise evidencia a importância de selecionar materiais construtivos que não apenas atendam às necessidades funcionais das edificações, mas que também contribuam para a redução das emissões de carbono e promovam práticas sustentáveis na construção civil.

Os dados apresentados evidenciam a contribuição de cada material para a pegada de carbono associada à construção, permitindo uma análise aprofundada do impacto ambiental relacionado ao uso de sistemas construtivos em *Light Steel Frame*. A comparação com métodos tradicionais de construção pode revelar vantagens significativas em termos de redução de emissões, ressaltando a importância de escolhas sustentáveis na engenharia civil. Com base nas emissões calculadas, conclui-se que o sistema construtivo em *Light Wood Frame* apresenta menores emissões de CO₂ quando comparado aos sistemas de alvenaria tradicionais e ao *Steel Frame*. Esta constatação reforça as previsões do *Light Wood Frame* como uma alternativa sustentável na construção civil, contribuindo para a diminuição da pegada de carbono das edificações. Os valores obtidos destacam a contribuição individual de cada material para a pegada de carbono da construção, possibilitando uma análise mais detalhada sobre o impacto ambiental associado ao uso de sistemas construtivos em *Light Steel Frame*.

A construção em *Light Wood Frame* se alinha às certificações ambientais LEED, AQUA-HQE e BREEAM, destacando-se por sua abordagem sustentável, que prioriza a utilização de madeira de reflorestamento em sua estrutura e fechamento. Esta prática resulta em uma significativa redução da pegada de carbono associada ao processo construtivo. Pesquisas indicam que esse sistema apresenta emissões de

CO₂ inferiores em comparação aos métodos tradicionais, como a alvenaria e o *Light Steel Frame*, devido à sua eficiência no uso de materiais e à menor geração de resíduos. Ademais, as edificações construídas com essa técnica proporcionam um isolamento térmico superior, culminando em uma economia de energia ao longo de sua vida útil. Essa abordagem não apenas promove o uso responsável de recursos renováveis, mas também enfatiza a relevância de escolhas sustentáveis na engenharia civil, posicionando o *Light Wood Frame* como uma alternativa viável e ecológica que contribui para a diminuição da pegada de carbono das edificações.

7 CONCLUSÃO

A análise crítica dos critérios e indicadores das certificações LEED *School*, AQUA-HQE *Education* e BREEAM aplicáveis a centros educacionais revela que o Centro da Juventude não cumpre integralmente os requisitos estabelecidos por essas certificações internacionais de sustentabilidade. A pesquisa incluiu uma avaliação dos parâmetros de desempenho térmico, acústico e lumínico, com medições realizadas *in loco* utilizando instrumentos específicos, como decibelímetro, luxímetro, termohigrômetro e anemômetro. Os resultados obtidos demonstram que os níveis de desempenho do centro estão abaixo dos padrões exigidos por essas certificações.

Os sistemas de certificação internacional de sustentabilidade, como LEED, AQUA-HQE e BREEAM, estabelecem critérios que incluem a utilização de materiais ecologicamente corretos e de baixa emissão de dióxido de carbono CO₂. Esses sistemas priorizam o fornecimento regional de insumos, com o intuito de minimizar as emissões de carbono associadas ao transporte. A certificação do *Forest Stewardship Council* (FSC) para a madeira garante práticas de gestão florestal responsável. Ademais, tais certificações enfatizam a adoção de materiais com baixa emissão de compostos orgânicos voláteis (COVs), como tintas e abrasivos, bem como a implementação de sistemas de iluminação com alta eficiência energética. Também é promovida a incorporação de sistemas avançados de automação e controle da climatização. No entanto, todos esses critérios contrastam significativamente com a realidade observada nas obras públicas brasileiras, onde frequentemente se verifica a ausência de tais práticas sustentáveis.

A alvenaria tradicional utilizada na construção do Centro da Juventude apresenta limitações em relação ao desempenho térmico e acústico, o que contrasta com as diretrizes estabelecidas por sistemas construtivos recomendados pelas certificações internacionais analisadas neste estudo. Essas certificações priorizam a utilização de materiais com elevada capacidade isolante, como lã de rocha, fibra de vidro e espuma de poliuretano. No entanto, no Centro da Juventude, a adoção de divisórias em compensado e de vidros convencionais não atende às exigências de vidros insulados ou duplos, que são essenciais para cumprir os padrões de sustentabilidade definidos por essas certificações. Essa discrepância evidencia a necessidade de intervenções que promovam a melhoria do desempenho energético e do conforto ambiental do edifício, visando sua adequação às referidas certificações.

Complementarmente, a pesquisa incluiu uma análise das emissões de CO₂ associadas aos materiais de construção empregados na edificação. Constatou-se que o sistema de alvenaria tradicional contribui para níveis elevados de emissão de CO₂, em comparação com os sistemas construtivos alternativos *Steel Frame* e *Wood Frame*. O sistema *Wood Frame*, em particular, destaca-se como uma opção mais sustentável devido à incorporação de madeira de reflorestamento na estrutura e nas paredes, substituindo o uso intensivo de aço e cimento, e apresentando assim menor impacto ambiental.

A análise demonstra que a incorporação dos requisitos das certificações de sustentabilidade LEED, AQUA-HQE e BREEAM enfrenta desafios significativos no contexto brasileiro, em função de práticas construtivas tradicionais e do uso de materiais com maior impacto ambiental. A adoção de materiais ecologicamente corretos, quando tecnicamente viável e economicamente acessível, constitui estratégia fundamental para a promoção da sustentabilidade na construção civil brasileira. Nesse contexto, a implementação de sistemas construtivos sustentáveis, apresenta potencial para melhorias substanciais no desempenho ambiental do Centro da Juventude. Entretanto, a análise sugere que a incompatibilidade entre as demandas dessas certificações e as práticas construtivas e a disponibilidade de materiais no mercado brasileiro representam um obstáculo considerável à sua adoção.

REFERÊNCIAS

ABRECON. Associação Brasileira de Empresas de Revestimentos. **Diretrizes para a construção sustentável**: manual de qualidade ABRECON. São Paulo, 2020.

ABREMA. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama 2023**. [S.l.: s.n.], 2023. Disponível em: https://www.abrema.org.br/pdf/Panorama_2023_P1.pdf. Acesso em: 25 jul. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16416 (2015)**: boas práticas de fabricação de biodiesel. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9050 (2020)**: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: https://www.caurn.gov.br/wp-content/uploads/2020/08/ABNT-NBR-9050-15-Acessibilidade-emenda-1_-03-08-2020.pdf. Acesso em: 6 nov. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5413 (2012)** – Iluminância de interiores. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/5254/nbr5413-iluminancia-de-interiores>. Acesso em: 20 mai. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10152 (2000)**. Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações. <http://www2.uesb.br/biblioteca/wp-content/uploads/2022/03/ABNT-NBR10152-AC%C3%9ASTICA-N%C3%8DVEIS-DE-PRESS%C3%83O-SONORA-EM-AMBIENTES-INTERNOS-E-EDIFICA%C3%87%C3%95ES.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575 (2013)** - Edificações Habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <file:///C:/Users/Administrador/Downloads/NBR15575-1.pdf>. Acesso em: 6 nov. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17037 (2023)** - Estabelece os requisitos para ambientes climatizados artificialmente. Disponível em: <https://www.target.com.br/produtos/normas-tecnicas/46200/nbr17037-qualidade-do-ar-interior-em-ambientes-nao-residenciais-climatizados-artificialmente-padroes-referenciais>. Acesso em: 6 nov. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Relatório Anual 2020**. Disponível em: http://snic.org.br/assets/pdf/relatorio_anual/rel_anual_2020.pdf. Acesso em: 17 fev. 2024.

ARCHDAILY. **Colégio Positivo**. ArchDaily Brasil, 21 dez. 2023. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/872442/colegio-positivo-internacional-manoel-coelho-arquitetura-e-design>. Acesso em: 25 jul. 2024.

AZEVEDO, Maciel Barbosa de. **Light Steel Framing: análise estrutural e dimensionamento de uma edificação de habitação de interesse social**. Brasília,

2018. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas do Centro Universitário de Brasília - UniCEUB.

BASESETE. **Colégio Cruzeiro**. Disponível em:
<http://www.basesete.com/projetos/135/colegio-cruzeiro>. Acesso em: 25 jul. 2024.

BOTELHO, M. H. C. **Concreto armado, eu te amo**, v.II, São Paulo: Edgard Blücher, 2004.

BREEAM. BRE Environmental & Sustainability Standard. **BREEAM Education 2008 Assessor Manual**. 2008. Disponível em:
https://tools.breeam.com/filelibrary/Non%20Domestic%20Manuals/BREEAM_Education_2008.pdf. Acesso em: 13 abr. 2024.

CARLETO, M.; TONON, P. **Estudo da viabilidade do sistema light steel frame para edificações residenciais**. Universidade de Araraquara, Araraquara-SP, 2019.

CASSAR, B. C. **Análise comparativa de sistemas construtivos para empreendimentos habitacionais: alvenaria convencional x light steel frame**. Trabalho de Conclusão de Curso. Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro-RJ, 2018.

CONAMA. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002. **Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil**. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=98303>. Acesso em: 20 out. 2024.

CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. **Construção sustentável no Brasil: subsídios para uma agenda de políticas públicas**. Brasília, DF: IPEA, 2023. Disponível em:
https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/livros/livros/210624_construcao_sustentavel_no_brasil.pdf. Acesso em: 25 jul. 2024.

CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. **Energia: atividades em andamento**. São Paulo, 2020. Disponível em:
<http://www.cbcs.org.br/website/comite-tematico/atividades-em-andamento.asp?cctCode=AD7C7A37-2F51-4451-9202FC0FF6407BCA>. Acesso em: 10 mar. 2024.

CONSTRUIR. **LIVENSA LIVING obtém o selo BREEAM para todas as suas residências**. Construir.pt, 11 abr. 2023. Disponível em:
<https://www.construir.pt/2023/04/11/livensa-living-obtem-o-selo-breeam-para-todas-as-suas-residencias>. Acesso em: 25 jul. 2024.

CONSTRUIR. **LIVENSA LIVING**. Disponível em:
<https://www.construir.pt/2023/04/11/livensa-living-obtem-o-selo-breeam-para-todas-as-suas-residencias>. Acesso em: 26 jul. 2024.

COSTA, B. L. C. **Quantificação das emissões de CO₂ geradas na produção de materiais utilizados na construção civil**. Orientador: Jairo José de Oliveira

Andrade. 2012. 100-190 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, UFRJ, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: https://tede2.pucrs.br/tede2/bitstream/tede/6884/2/DIS_IASMINY_BORBA_DA_CUNHA_COMPLETO.pdf. Acesso em: 27 set. 2024.

CRUZ, F. J. R. **Utilização de cinza de aveloz de fornos cerâmicos para produção de tijolos e telhas**. Orientadora: Érika Pinto Marinho. 2003. 78 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/10405>. Acesso em: 27 set. 2024.

CYBIS, L. F.; SANTOS, C. V. J. Análise do ciclo de vida aplicada à indústria da construção civil: estudo de caso. *In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Porto Alegre, 2000.

DEMANBORO, A. C.; FERRÃO, A. M. A.; MARIOTONI, A. **Desafios da sustentabilidade sob o enfoque do estoque de recursos naturais, 2003**. Disponível em: <http://www.cori.unicamp.br/IAU/completos/Desafios%20da%20Sustentabilidade%20sob%20o%20Enfoque%20do%20Estoque%20de%20Recursos%20Naturais.doc>. Acesso em: 23 mar. 2024.

ESPACO SMART. **Steel frame**. Disponível em: <https://conteudo.espacosmart.com.br/steel-framing/>. Acesso em: 20 mai. 2024.

FEIBER, S. **Análise da emissão de CO2 entre sistemas de construção**: estrutura de aço leve e alvenaria convencional. Artigo do Departamento de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal, 2019. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/24713>. Acesso em: maio 2024.

FINNEGAN, W. **Beyond whole-school approaches to sustainability**: social practices and practice architectures at secondary schools in England, 2023. Environmental Change Institute, University of Oxford, UK.

FUNDAÇÃO VANZOLINI. **AQUA-HQE**. Disponível em: <https://vanzolini.org.br>. Acesso em: 25 jul. 2024.

FUNDAÇÃO VANZOLINI; BRE; USGBC. **AQUA: Avaliação Ambiental**. São Paulo, 2023. Disponível em: <https://vanzolini.org.br/organizacoes/certificacoes/aqua-hqe/> <https://breeam.com/> https://aressustentabilidade.com.br/certificacao-lead/?gad_source=1&gclid=CjwKCAjw74e1BhBnEiwAbqOAjJPmoxOqOcv8NJUjQJtHiJoB8gevTuvBegTmMTMcEmdHFSyp_Lz0eRoCGGQQAvD_BwE. Acesso em: 25 jul. 2024.

FUNDACAO VANZOLINI. **AQUA Education**: Certificação ambiental. Disponível em: <https://vanzolini.org.br/>. Acesso em: 25 jul. 2024.

GBC BRASIL. **Certificação LEED Brasil**. 2019. Disponível em: <https://www.gbcbrasil.org.br/certificacao/certificacao-leed/>. Acesso em: 25 jul. 2024.

GBC Brasil. GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL. **Anuário GBC Brasil 2023**. 2023. Disponível em: https://assets-global.website-files.com/646d3d574b9596ce9fab7d7c/65c55ecbf956cd8ded4447cb_Anu%C3%A1rio%20GBC%20Brasil%202023_%20digital.pdf. Acesso em: 25 jul. 2024.

GEOPORTAL MUNICÍPIO DE CASCAVEL. **Levantamento do Loteamento**. Disponível em: <https://geocascavel.cascavel.pr.gov.br/geo-view/index.ctm>. Acesso em: 20 mai. 2024.

GOLDMAN, D.; AYALON, O.; BAUM, D.; WEISS, B. Influence of 'green school certification' on students' environmental literacy and adoption of sustainable practice by schools. **Journal of Cleaner Production**, [s.l.], v. 183, p. 1300-1313, mai. 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652618304955>. Acesso em: 27 set. 2024.

GOOGLE MAPS. **Centro da Juventude**. Disponível em: <https://www.google.com/maps/place/Centro+da+Juventude+Professor+Jomar+Vieira+da+Rocha/@-24.917546,53.439652,15z/data=!4m6!3m5!1s0x94f3d36d77830311:0xc0f27b84b3fd28d0!8m2!3d-24.917546!4d-53.439652!16s%2Fg%2F1thw39d8?entry=ttu>. Acesso em: 20 mai. 2024.

GUIMARÃES, L.; FONSECA, M.; PEREIRA, R. **Análise de viabilidade técnica e econômica do método construtivo a seco no estado de Minas Gerais**. 2022. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/23144/1/TCC%20%20GRUPO%2004%20-%20REV01.pdf>. Acesso em: 10 out. 2023.

IEA. International Energy Agency. **Fossil Fuels** - Energy System. Disponível em: <https://www.iea.org/energy-system/fossil-fuels>. Acesso em: 25 jul. 2024.

IEA. International Energy Agency. **Global Energy & CO2 Status Report 2019**. Paris: IEA, 2019. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-energy-co2-status-report-2019>. Acesso em: 25 jul. 2024.

INTERGOVERNMENTAL PANEL CLIMATE CHANGE. **Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems**, 2019. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/11/2019-11-08-IPCC-Report-Climate-Change-and-Land.pdf>. Acesso em: 25 jul. 2024.

IDD – Institut Wallon de Développement Économique et Social et D'Aménagement du Territoire Asbl – Institut Wallon – VITO. **Green house gas emissions reduction and material flows**. Disponível em:

<http://www.belspo.be/belspo/home/publ/pubostc/CG2131/rappCG31>. Acesso em: 20 jul. 2024.

IBU. INSTITUT BAUEN UND UMWELT. **Environmental Product Declaration: DuPont™ Tyvek® Monolayer 60 (1060B, 1560B, 2460B)**. DuPont de Nemours (Luxembourg) s.à r.l., 2016.

IBU. INSTITUT BAUEN UND UMWELT. Environmental Product Declaration: AGEPAN® and Greenline® OSB (Oriented Strand Board). Sonae Indústria, S.G.P.S., S.A. / Glunz AG, 2016.

IBU. INSTITUT BAUEN UND UMWELT. Environmental Product Declaration: Plasterboard Knauf Diamant GKFI. Knauf Gips KG, 2016.

INOVATECH. **Certificação Breeam**. Disponível em: <https://inovatech engenharia.com.br/atuacao/certificacoes/breeam/>. Acesso: 25 jul. 2024.

ISAIA, G.; GASTALDINI, A. Concreto “verde” com teores muito elevados de adições minerais: um estudo de sustentabilidade. Artigo apresentado na I Conferência Latino-Americana de Construções Sustentáveis. **X Encontro Nacional de Tecnologias do Ambiente Construtivo**, São Paulo, SP, julho de 2004.

ISAIA, G. C. **Concreto**: ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: IBRACON, 2005.

JOHN, V. M.; ANGULO, S. C.; ZORDAN, S. E. **Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem de Resíduos na Construção Civil**. Disponível em: http://www.reciclagem.pcc.usp.br/ftp/artigo%20IV_CT206_2001.pdf. Acesso em: 15 jun. 2024.

JUNIOR., T. S. **Avaliação de emissões de CO2 na construção civil: Um estudo de caso de habitação de interesse social no Paraná**. In: XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Rio de Janeiro – RJ, out. de 2008.

KAMALI, Mohammad; HEWAGE, Kasun; SADIQ, Rehan. Conventional versus modular construction methods: A comparative cradle-to-gate LCA for residential buildings. **Energy and Buildings**, [s.l.], v. 204, p. 109479, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778819311387?via%3Di> hub. Acesso em: 28 set. 2024.

KNAUF. **Knauf - Inovação, respeito ao meio ambiente, eficiência energética e sustentabilidade**. Disponível em: <http://www.knauf.com.br/>. Acesso em: 14 set. 2024.

MERCADO CONSTRUÇÃO: Negócios de Incorporação e Construção. **Por que certificar?** São Paulo, ano 70, n. 188, p. 20-28. Acesso em: mar. 2024.

NAGALLI, A. **Livro Resíduos de construção civil** - 2ª ed. - por André Nagalli. São Paulo: Oficina de Textos, 2015

OMS. ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE-2022. **Monitoramento de temperatura e umidade**.<https://nexxto.com/oms-padroes-recomendados-para-monitoramento-de-temperatura/> Acesso em: 15 set. 2024.

ONU. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **COP21**. 2015. Disponível em: <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf>. Acesso em: 25 jul. 2024.

ODS. CONSELHO DE EDIFÍCIO VERDE BRASIL. **Como as construções sustentáveis contribuem para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU?** 2023. Disponível em: https://www.gbcbrasil.org.br/como-as-construcoes-sustentaveis-contribuem-para-os-objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel-da-onu/?gad_source=1&gclid=CjwKCAjw74e1BhBnEiwAbqOAJL8m6tnMak9dp_GylTNA1NryX1O6yet1hxRBupS-9De-TOtmS9j5bBoCIAMQAvD_BwE. Acesso em: 25 jul. 2024.

PATRÍCIO, I. F. **Análise comparativa das emissões de CO2 entre edificações de alvenaria convencional e alvenaria Steel Frame**. Orientador: João Silveira Belém Junior. 2019. 71 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Curso de Engenharia Civil, Unievangélica, Anápolis/GO, 2019. Disponível em: <http://repositorio.aee.edu.br/handle/aee/8659>. Acesso em: 27 set. 2024.

PNAD - **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios**, 2015 Disponível em:<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9127-pesquisa-nacional-por-amostra-de-domicilios.html>. 27 set. 2024.

POLI-USP. **Departamento de Engenharia de Produção da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo**. Disponível em: <https://www.poli.usp.br>. Acesso em: 25 jul. 2024.

SAMUDYATHA, U.C.; MUNINARAYANA, C.; VISHWAS, S.; KAMATH, B.T. Prasanna. Engaging school children in sustainable lifestyle: opportunities and challenges. **Environmental research**, 242, 117673, 2023. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38029819/>. Acesso em: 27 set. 2024.

SESI-SERVIÇO SOCIAL DA INDÚSTRIA. **Resultado do Selo Sesi ODS 2021**. Disponível em: <http://www.proec.ufpr.br/download/extensao/2021/Resultado-Selo-Sesi-ODS-1.pdf>. Acesso em: 20 out. 2024.

SHENDELL, D. G.; SHAH, N. Initial evaluation of the Sustainable Jersey for Schools Program and certifications achieved by New Jersey public schools, 2014–2018. *Environmental Research*, [s.l.], v. 185, p. 109399, jun. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013935120302929>. Acesso em: 27 set. 2024.

SILVEIRA, T. S. **Qualidade do ar e concentração de materiais particulados nos centros urbanos da América do Sul: análise interdisciplinar a partir de relatórios oficiais considerando aspectos de geografia, direito e saúde coletiva**. Orientador: Nelson da Cruz Gouveia. 2021. 92 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021. Disponível em:

<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/5/5137/tde-15062022-121757/publico/ThiagoSouzaSilveiraVersaoCorrigida.pdf>. Acesso em: 25 jul. 2024.

UGREEN. **Quanto custa o selo BREEAM**. Disponível em: <https://www.ugreen.com.br/breeam-a-certificacao-que-busca-sustentabilidade-em-edificios/>. Acesso em: 25 jul. 2024.

UGREEN. **Valor para certificar obra LEED**. 2024. Disponível em: <https://www.ugreen.com.br/quanto-custa-a-certificacao-leed-um-guia-para-empresas-de-construcao/>. Acesso em: 25 jul. 2024.

UL ENVIRONMENT. **Environmental Product Declaration**: North American Oriented Strand Board. American Wood Council and Canadian Wood Council, 2013.

USGBC. **LEED Green Associate**. Disponível em: <https://www.usgbc.org/credentials/leed-green-associate>. Acesso em: 25 jul. 2024.

USGBC. **LEED SCHOOLS. For New Construction and Major Renovations**. Disponível em: <https://s3.amazonaws.com/legacy.usgbc.org/usgbc/docs/Archive/General/Docs2593.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2024.

USGBC. UNITED STATES GREEN BUILDING COUNCIL. **Green Building Council Brasil - USGBC**. Disponível em: <https://www.usgbc.org/organizations/green-building-council-brasil>. Acesso em: 25 jul. 2024.

USGBC. US Green Building Council. **LEED v4**: Guia de referência para projeto e construção de edifícios. Washington, DC: US Green Building Council, 2022.

YOUNG, W.; TILLEY, F. Can businesses move beyond efficiency? The shift toward effectiveness and equity in the corporate sustainability debate. **Business Strategy and the Environment**, [l.], v. 6, n. 15, p. 402-415, 2006.

ZUO, J.; ZHAO, Z. Green building research—current status and future agenda: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 30, p. 271-281, 2014. Disponível em: <https://thesis.library.adelaide.edu.au/dspace/handle/2440/107873> . Acesso em: 25 jul. 2024.

ANEXO A1

QUANTITATIVO DE ARGAMASSA REVIT

Argamassa		
Material: Nome	Material: Área	Material: Volume
Argamassa	42 m ²	0.30 m ³
Argamassa	42 m ²	0.30 m ³
Argamassa	45 m ²	0.31 m ³
Argamassa	42 m ²	0.30 m ³
Argamassa	35 m ²	0.25 m ³
Argamassa	13 m ²	0.09 m ³
Argamassa	10 m ²	0.07 m ³
Argamassa	12 m ²	0.08 m ³
Argamassa	30 m ²	0.21 m ³
Argamassa	10 m ²	0.07 m ³
Argamassa	10 m ²	0.07 m ³
Argamassa	45 m ²	0.31 m ³
Argamassa	42 m ²	0.30 m ³
Argamassa	34 m ²	0.24 m ³
Argamassa	13 m ²	0.09 m ³
Argamassa	10 m ²	0.07 m ³
Argamassa	12 m ²	0.08 m ³
Argamassa	30 m ²	0.21 m ³
Argamassa	10 m ²	0.07 m ³
Argamassa	10 m ²	0.07 m ³
Argamassa	45 m ²	0.31 m ³
Argamassa	52 m ²	0.36 m ³
Argamassa	41 m ²	0.28 m ³
Argamassa	47 m ²	0.33 m ³
Argamassa	47 m ²	0.33 m ³
Argamassa	42 m ²	0.30 m ³
Argamassa	42 m ²	0.30 m ³
Argamassa	58 m ²	0.41 m ³
Argamassa	45 m ²	0.31 m ³
Argamassa	58 m ²	0.41 m ³
Argamassa	42 m ²	0.30 m ³
Argamassa	1 m ²	0.00 m ³
Argamassa	45 m ²	0.31 m ³
Argamassa	45 m ²	0.31 m ³
Total	1107 m ²	7.75 m

ANEXO A2

QUANTITATIVO DE CHAPISCO E EMBOÇO REVIT

Material: Nome	Material:Área	Material:Área	Material: Nome	Material:Área	Material: Volume
Chapisco	42 m ²	0.34 m ³	Emboço	42 m ²	0.42 m ³
Chapisco	42 m ²	0.34 m ³	Emboço	42 m ²	0.42 m ³
Chapisco	45 m ²	0.36 m ³	Emboço	45 m ²	0.45 m ³
Chapisco	42 m ²	0.34 m ³	Emboço	42 m ²	0.42 m ³
Chapisco	35 m ²	0.28 m ³	Emboço	35 m ²	0.35 m ³
Chapisco	13 m ²	0.10 m ³	Emboço	13 m ²	0.13 m ³
Chapisco	10 m ²	0.08 m ³	Emboço	10 m ²	0.10 m ³
Chapisco	12 m ²	0.09 m ³	Emboço	12 m ²	0.12 m ³
Chapisco	30 m ²	0.24 m ³	Emboço	30 m ²	0.30 m ³
Chapisco	10 m ²	0.08 m ³	Emboço	10 m ²	0.10 m ³
Chapisco	10 m ²	0.08 m ³	Emboço	10 m ²	0.10 m ³
Chapisco	45 m ²	0.36 m ³	Emboço	45 m ²	0.45 m ³
Chapisco	42 m ²	0.34 m ³	Emboço	42 m ²	0.42 m ³
Chapisco	34 m ²	0.27 m ³	Emboço	34 m ²	0.34 m ³
Chapisco	13 m ²	0.10 m ³	Emboço	13 m ²	0.13 m ³
Chapisco	10 m ²	0.08 m ³	Emboço	10 m ²	0.10 m ³
Chapisco	12 m ²	0.09 m ³	Emboço	12 m ²	0.12 m ³
Chapisco	30 m ²	0.24 m ³	Emboço	30 m ²	0.30 m ³
Chapisco	10 m ²	0.08 m ³	Emboço	10 m ²	0.10 m ³
Chapisco	10 m ²	0.08 m ³	Emboço	10 m ²	0.10 m ³
Chapisco	45 m ²	0.36 m ³	Emboço	45 m ²	0.45 m ³
Chapisco	52 m ²	0.42 m ³	Emboço	52 m ²	0.52 m ³
Chapisco	41 m ²	0.32 m ³	Emboço	41 m ²	0.41 m ³
Chapisco	47 m ²	0.38 m ³	Emboço	47 m ²	0.47 m ³
Chapisco	47 m ²	0.38 m ³	Emboço	47 m ²	0.47 m ³
Chapisco	42 m ²	0.34 m ³	Emboço	42 m ²	0.42 m ³
Chapisco	42 m ²	0.34 m ³	Emboço	42 m ²	0.42 m ³
Chapisco	58 m ²	0.47 m ³	Emboço	58 m ²	0.58 m ³
Chapisco	45 m ²	0.36 m ³	Emboço	45 m ²	0.45 m ³
Chapisco	58 m ²	0.47 m ³	Emboço	58 m ²	0.58 m ³
Chapisco	42 m ²	0.34 m ³	Emboço	42 m ²	0.42 m ³
Chapisco	1 m ²	0.00 m ³	Emboço	1 m ²	0.01 m ³
Chapisco	45 m ²	0.36 m ³	Emboço	45 m ²	0.45 m ³
Chapisco	45 m ²	0.36 m ³	Emboço	45 m ²	0.45 m ³
		8.86 m ³			
Total		15.00 m ³	Total		11,07 m ³

ANEXO A3

QUANTITATIVO BALDRAME REVIT

Tipo	Comprimento	Altura desconectada	Área
Fundação Baldrame	8.97	0.70	6 m ²
Fundação Baldrame	7.36	0.70	5 m ²
Fundação Baldrame	6.36	0.70	4 m ²
Fundação Baldrame	7.13	0.70	5 m ²
Fundação Baldrame	7.08	0.70	5 m ²
Fundação Baldrame	6.85	0.70	5 m ²
Fundação Baldrame	7.17	0.70	5 m ²
Fundação Baldrame	6.91	0.70	5 m ²
Fundação Baldrame	6.40	0.70	4 m ²
Fundação Baldrame	8.96	0.70	6 m ²
Fundação Baldrame	6.35	0.70	4 m ²
Fundação Baldrame	7.18	0.70	5 m ²
Fundação Baldrame	6.85	0.70	5 m ²
Fundação Baldrame	8.83	0.70	6 m ²
Fundação Baldrame	6.36	0.70	4 m ²
Fundação Baldrame	6.85	0.70	5 m ²
Fundação Baldrame	6.90	0.70	5 m ²
Fundação Baldrame	6.36	0.70	4 m ²
Fundação Baldrame	8.97	0.70	6 m ²
Fundação Baldrame	6.86	0.70	5 m ²
Fundação Baldrame	6.86	0.70	5 m ²
Fundação Baldrame	5.04	0.70	3 m ²
Fundação Baldrame	1.97	0.70	1 m ²
Fundação Baldrame	1.97	0.70	1 m ²
Fundação Baldrame	1.59	0.70	1 m ²
Fundação Baldrame	6.85	0.70	5 m ²
Fundação Baldrame	1.96	0.70	1 m ²
Fundação Baldrame	1.62	0.70	1 m ²
Fundação Baldrame	1.96	0.70	1 m ²
Fundação Baldrame	5.05	0.70	3 m ²
Fundação Baldrame	6.36	0.70	4 m ²
Fundação Baldrame	6.86	0.70	5 m ²
Fundação Baldrame	7.17	0.70	5 m ²
Fundação Baldrame	7.51	0.70	5 m ²
Fundação Baldrame	6.52	0.70	5 m ²
Fundação Baldrame	6.90	0.70	5 m ²
Fundação Baldrame	6.36	0.70	4 m ²
Fundação Baldrame	7.18	0.70	5 m ²
Total geral:			177 m ²

ANEXO A4

QUANTITATIVO ESTACAS REVIT

Tipo	Largura	Compr	Espessura da fundação	Área	Volume
Fundação Estacas	1.40	1.40	2.60	4 m²	1.70 m³
Fundação Estacas	1.40	1.40	2.60	4 m²	1.70 m³
Fundação Estacas	1.40	1.40	2.60	4 m²	1.70 m³
Fundação Estacas	1.40	1.40	2.60	4 m²	1.70 m³
Fundação Estacas	1.40	1.40	2.60	4 m²	1.70 m³
Fundação Estacas	1.40	1.40	2.60	4 m²	1.70 m³
Fundação Estacas	1.40	1.40	2.60	4 m²	1.70 m³
Fundação Estacas	1.40	1.40	2.60	4 m²	1.70 m³
Fundação Estacas	1.40	1.40	2.60	4 m²	1.70 m³
Fundação Estacas	1.40	1.40	2.60	4 m²	1.70 m³
Fundação Estacas	1.40	1.40	2.60	4 m²	1.70 m³
Fundação Estacas	1.40	1.40	2.60	4 m²	1.70 m³
Fundação Estacas	1.40	1.40	2.60	4 m²	1.70 m³
Fundação Estacas	1.40	1.40	2.60	4 m²	1.70 m³
Fundação Estacas	1.40	1.40	2.60	4 m²	1.70 m³
Fundação Estacas	1.40	1.40	2.60	4 m²	1.70 m³
Fundação Estacas	1.40	1.40	2.60	4 m²	1.70 m³
Fundação Estacas	1.40	1.40	2.60	4 m²	1.70 m³
Fundação Estacas	1.40	1.40	2.60	4 m²	1.70 m³
Fundação Estacas	1.40	1.40	2.60	4 m²	1.70 m³
Fundação Estacas	1.40	1.40	2.60	4 m²	1.70 m³
Fundação Estacas	1.40	1.40	2.60	4 m²	1.70 m³
Fundação Estacas	1.40	1.40	2.60	4 m²	1.70 m³
Total geral: 24				105 m²	40.89 m³

ANEXO A5

QUANTITATIVO TIJOLO REVIT

Parede em Alvenaria		
Material: Nome	Material: Área	Material: Volume
Tijolo, Comum	21 m ²	1.90 m ³
Tijolo, Comum	21 m ²	1.90 m ³
Tijolo, Comum	22 m ²	2.01 m ³
Tijolo, Comum	21 m ²	1.90 m ³
Tijolo, Comum	18 m ²	1.58 m ³
Tijolo, Comum	6 m ²	0.57 m ³
Tijolo, Comum	5 m ²	0.47 m ³
Tijolo, Comum	6 m ²	0.53 m ³
Tijolo, Comum	15 m ²	1.37 m ³
Tijolo, Comum	5 m ²	0.45 m ³
Tijolo, Comum	5 m ²	0.45 m ³
Tijolo, Comum	22 m ²	2.01 m ³
Tijolo, Comum	21 m ²	1.90 m ³
Tijolo, Comum	17 m ²	1.54 m ³
Tijolo, Comum	6 m ²	0.57 m ³
Tijolo, Comum	5 m ²	0.47 m ³
Tijolo, Comum	6 m ²	0.53 m ³
Tijolo, Comum	15 m ²	1.37 m ³
Tijolo, Comum	5 m ²	0.45 m ³
Tijolo, Comum	5 m ²	0.45 m ³
Tijolo, Comum	22 m ²	2.01 m ³
Tijolo, Comum	26 m ²	2.35 m ³
Tijolo, Comum	20 m ²	1.83 m ³
Tijolo, Comum	24 m ²	2.12 m ³
Tijolo, Comum	24 m ²	2.13 m ³
Tijolo, Comum	21 m ²	1.90 m ³
Tijolo, Comum	21 m ²	1.90 m ³
Tijolo, Comum	29 m ²	2.63 m ³
Tijolo, Comum	22 m ²	2.01 m ³
Tijolo, Comum	29 m ²	2.63 m ³
Tijolo, Comum	21 m ²	1.90 m ³
Tijolo, Comum	0 m ²	0.02 m ³
Tijolo, Comum	22 m ²	2.01 m ³
Tijolo, Comum	22 m ²	2.01 m ³
	554 m ²	49.83 m ³

ANEXO A6

QUANTITATIVO VIDRO REVIT

Família e tipo	Material: Volume	Material: Área
Painel do sistema: Envidraçado	0.14 m ³	6 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.14 m ³	6 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.14 m ³	6 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.14 m ³	6 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.14 m ³	6 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.02 m ³	1 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.14 m ³	6 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.14 m ³	6 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.14 m ³	6 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.14 m ³	5 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.14 m ³	6 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.14 m ³	6 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.14 m ³	6 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.14 m ³	6 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.03 m ³	1 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.14 m ³	6 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.14 m ³	6 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.14 m ³	6 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.10 m ³	4 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.14 m ³	6 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.14 m ³	6 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.14 m ³	6 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.06 m ³	2 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.14 m ³	6 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.14 m ³	6 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.14 m ³	6 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.04 m ³	1 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.03 m ³	1 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.14 m ³	6 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.14 m ³	6 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.14 m ³	6 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.04 m ³	1 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.03 m ³	1 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.00 m ³	0 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.00 m ³	0 m ²

Painel do sistema: Envidraçado	0.14 m ³	6 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.14 m ³	6 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.14 m ³	6 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.06 m ³	2 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.14 m ³	6 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.14 m ³	6 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.14 m ³	6 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.14 m ³	5 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.14 m ³	6 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.14 m ³	6 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.14 m ³	6 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.14 m ³	6 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.02 m ³	1 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.08 m ³	3 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.08 m ³	3 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.08 m ³	3 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.08 m ³	3 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.08 m ³	3 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.02 m ³	1 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.02 m ³	1 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.02 m ³	1 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.02 m ³	1 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.02 m ³	1 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.08 m ³	3 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.08 m ³	3 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.08 m ³	3 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.08 m ³	3 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.08 m ³	3 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.02 m ³	1 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.02 m ³	1 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.02 m ³	1 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.02 m ³	1 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.02 m ³	1 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.02 m ³	1 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.02 m ³	1 m ²
Painel do sistema: Envidraçado	0.02 m ³	1 m ²
Total geral	6.57 m ³	263 m ²

ANEXO A7

QUANTITATIVO VIGAS REVIT

Tipo	Comprimento	Altura desconectada	Área
Vigas	9.67	0.40	4 m ²
Vigas	6.97	0.40	3 m ²
Vigas	7.55	0.40	3 m ²
Vigas	7.83	0.40	3 m ²
Vigas	7.54	0.40	3 m ²
Vigas	7.40	0.40	3 m ²
Vigas	7.47	0.40	3 m ²
Vigas	7.47	0.40	3 m ²
Vigas	7.41	0.40	3 m ²
Vigas	7.01	0.40	3 m ²
Vigas	7.53	0.40	3 m ²
Vigas	6.97	0.40	3 m ²
Vigas	9.62	0.40	4 m ²
Vigas	7.43	0.40	3 m ²
Vigas	7.54	0.40	3 m ²
Vigas	9.56	0.40	4 m ²
Vigas	6.99	0.40	3 m ²
Vigas	7.37	0.40	3 m ²
Vigas	6.86	0.40	3 m ²
Vigas	9.49	0.40	4 m ²
Vigas	7.46	0.40	3 m ²
Vigas	7.30	0.40	3 m ²
Vigas	7.30	0.40	3 m ²
Vigas	7.51	0.40	3 m ²
Vigas	7.01	0.40	3 m ²
Vigas	7.42	0.40	3 m ²
Vigas	7.57	0.40	3 m ²
Vigas	6.95	0.40	3 m ²
Vigas	7.83	0.40	3 m ²
Vigas	6.94	0.40	3 m ²
Vigas	7.29	0.40	3 m ²
Vigas	7.53	0.40	3 m ²
Vigas	7.69	0.40	3 m ²
Vigas	7.46	0.40	3 m ²
Vigas	7.77	0.40	3 m ²
Vigas	7.29	0.40	3 m ²
Vigas	7.43	0.40	3 m ²
			113 m ²

