

ESTUDO DO DESEMPENHO AMBIENTAL NA READEQUAÇÃO COM TELHADO VERDE EM ESCOLA

Jéssica Nascimento de Sousa¹, Larissa Barcellos Carrafa¹, Wanlexis Barbosa de Araújo¹, Karina Zanetti²

1- Acadêmico do curso de Engenharia Civil

2- Titulação do orientador – Professor Multivix – São Mateus

RESUMO

Em um mundo onde a arquitetura bioclimática vem buscando maior reconhecimento, destaca-se a aparição dos aspectos sustentáveis voltados a edifícios escolares. As tipologias sustentáveis funcionam como propagadores dos conceitos fundamentais para uma construção de qualidade, utilizando como base os critérios da sustentabilidade. Esta pesquisa estuda a readequação da cobertura original do Colégio Córrego do Milanez do município de São Mateus - ES, por telhados verdes extensivos cuja composição de materiais reduz índices de emissão de CO₂ e gera menor energia embutida. A indústria da construção civil se destaca pelo alto consumo de recursos energéticos e naturais, gerando grandes quantidades de resíduos e promovendo maiores gastos energéticos com a inserção de novos materiais, tornando essa a razão substancial para a readequação das edificações. A pesquisa possui natureza de caráter exploratório, com abordagem metodológica quantitativa e aplicação em estudo de caso. Através das comparações feitas nesta pesquisa, observou-se a viabilidade na implantação da técnica dos telhados verdes extensivos, visto que apontaram resultados favoráveis relativos à redução da energia embutida e emissão de CO₂. O estudo realizado voltado ao ambiente escolar incrementa na qualidade já implantada no espaço educacional pois indaga aos usuários a iniciativa de novos projetos com concepções e diretrizes ecológicas.

Palavras-chave: telhados verdes, arquitetura escolar, energia embutida, emissão de CO₂.

ABSTRACT

In a world where bioclimatic architecture has been seeking greater recognition, the emergence of sustainable aspects aimed at school buildings stands out. Sustainable typologies act as propagators of the fundamental concepts for quality construction, using sustainability criteria as a basis. This research studies the readjustment of the original coverage of Colégio Córrego do Milanez in the municipality of São Mateus - ES, by extensive green roofs whose composition of materials reduces CO₂ emission rates and generates less built-in energy. The construction industry stands out for its high consumption of energy and natural resources, generating large amounts of waste and promoting greater energy costs with the insertion of new materials, making this the substantial reason for the readjustment of buildings. The research has an exploratory nature, with a

quantitative methodological approach and application in a case study. Through the comparisons made in this research, the feasibility in the implementation of the extensive green roofing technique was observed, since they showed favorable results regarding the reduction of the built-in energy and CO₂ emission. The study carried out focused on the school environment increases the quality already implemented in the educational space because it asks users to initiate new projects with ecological concepts and guidelines.

Keywords: green roofs, school architecture, built-in energy, CO₂ emission.

1. INTRODUÇÃO

Diante das eventualidades, a busca pela implantação de novas tecnologias sustentáveis tem se tornado gradativamente crescente e necessária. A construção civil sustentável tem como princípio gerar novas técnicas construtivas, considerando o emprego de materiais alternativos, para que possa haver a minimização dos impactos ambientais provenientes da tradicionalidade construtiva (ALBERTO et al., 2012, p. 171).

A partir de meados da década de 2000, a grande concentração da população de êxodo rural em áreas urbanas fez com que o índice de construções aumentasse, reduzindo drasticamente os espaços verdes nas cidades. A situação impulsionou na tomada de medidas de intervenção, desencadeando inovações para as edificações, uma delas sendo o telhado verde. Por possuir

características modernas e sustentáveis, essa técnica surgiu para compensar as regiões concentradas de concreto (BERGMANN; GEHARD, 2018, p. 2).

A aplicação da cobertura verde proporciona um melhor conforto termoacústico da edificação e uma maior gestão de captação pluvial, bem como possibilita a execução de atividades ecológicas no local, como a agricultura. Essas características, quando direcionadas a um local específico, como o espaço físico escolar, alcançam um maior número de pessoas, gerando mais responsabilidade e conservação com a edificação e o meio ambiente.

Neste contexto, buscando cooperar para a educação nas escolas públicas do Espírito Santo e difundir as tecnologias da construção civil, é proposta a readequação do telhado original de uma construção escolar utilizando-se telhado verde extensivo, seguida de uma análise comparativa das contribuições da cobertura verde para melhorar parâmetros de desempenho ambiental, utilizando índices de energia embutida (EE) e emissão de dióxido de carbono (CO₂).

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL – AMBIENTE ESCOLAR

A conceituação de sustentável é firmada por ações de desenvolvimento sustentável que usufruam de recursos naturais sem degradá-los e sem comprometer o futuro do planeta. Na construção civil este conceito se tornou indispensável, de acordo com a afirmação de Rodrigues et al. (2017, p.2088) “as formas de produção com o uso de recursos naturais do planeta e a quantidade de resíduos deixados pelas construções de grande porte estão entre os temas mais abordados”.

Segundo Martins (acesso em 29 de mai. 2020):

Pesquisas afirmam um aumento de 5% nos gastos em construções onde há investimentos em sustentabilidade. Ainda assim, é por meio destas mudanças que os ganhos em economia de recursos naturais, como a água e a energia, acabam compensando e diminuindo estes custos extras em 30%.

A Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura (AsBEA) (2007) destaca na construção civil alguns aspectos importantes para a elaboração de projetos com um melhor desempenho ambiental, como, a gestão eficiente de água, energia e materiais renováveis na obra, a qualidade do ambiente interno e externo dos edifícios e o aproveitamento das disposições naturais dos locais, com o intuito de expandi-los na sociedade em geral.

Na inserção aos projetos sustentáveis, Kowaltowski (2011) destaca sobre a importância de um designer mais elaborado das edificações e ambientes escolares, tendo em vista utilizar os sistemas eficientes do prédio escolar para criar experiências e descobertas de aprendizagem inovadoras.

A resolução CD/FNDE nº 18, de 21 de maio de 2013 do Manual Escolas Sustentáveis, além de outros fins, destaca sobre a mudança para a sustentabilidade nas escolas a partir da correlação entre três dimensões: espaço físico, gestão e currículo. Nestes, é preciso haver:

Espaço físico: utilização de materiais construtivos mais adaptados às condições locais e de um desempenho arquitetônico que permita a criação de edificações dotadas de conforto térmico e acústico, que garantam acessibilidade, gestão eficiente da água e da energia, saneamento e destinação adequada de resíduos.

Gestão: compartilhamento do planejamento e das decisões que dizem respeito ao destino e à rotina da escola, respeitando os direitos humanos e valorizando a diversidade cultural e étnico-racial.

Currículo: inclusão de conhecimentos, saberes e práticas sustentáveis no projeto político-pedagógico das instituições de ensino e em seu cotidiano a partir de uma abordagem que seja contextualizada na realidade local e estabeleça nexos e vínculos com a sociedade global. (RESOLUÇÃO CD/FNDE nº 18, 2013).

2.2 OS CONCEITOS LIGADOS À SUSTENTABILIDADE DAS EDIFICAÇÕES

A indústria da construção civil se destaca pelo alto consumo de recursos energéticos e naturais, gerando grandes quantidades de resíduos. Os impactos ambientais ocasionados por essa indústria estão sendo analisados pelos órgãos governamentais e documentados com o auxílio de pesquisas acadêmicas e certificações, por aderirem novos métodos de avaliação.

Marcos (2015, p.31-32) declara que “para reduzir esses impactos recomenda-se utilizar materiais de construção com baixas emissões de CO₂, menor consumo de energia e água e geração de resíduos.”

2.2.1 Energia Embutida - EE

O estudo de energia incorporada é um recurso viável para se estimar o impacto ambiental de diversas atividades. Ter conhecimento da quantidade de energia básica para a produção de materiais de construção é uma ferramenta de grande importância para calcular o impacto ambiental das edificações (UHMANN, 2016, p.48).

De acordo com Teodoro (2017):

O consumo de energia embutida nas edificações acontece ao longo do seu ciclo de vida nas atividades relacionadas com a construção e manutenção. A contribuição da energia embutida nas edificações do Brasil chega a 40% do seu ciclo de vida energético.

“O tempo de vida energético da edificação é dividido em produção - incluindo todos os processos desde a extração da matéria-prima até o fim da produção na fábrica - construção, operação, manutenção e demolição” (THORMARK, 2001 apud MARCOS, 2015, p.104).

Segundo Thormark (2006), citado por Jalali e Torgal (2010, p.75) é possível a obtenção de 17% de redução na energia utilizada na construção do edifício escolhendo-se de forma adequada os materiais de construção. Desse modo, quando examinada a energia incorporada no ciclo de vida dos materiais, possibilita-se a minimização de impactos ambientais causados pela edificação.

2.2.2 Gases de efeito estufa – CO2

Os gases que favorecem para a expansão do efeito estufa são designados por absorverem uma parcela dos raios solares e os redirecionarem na atmosfera em formato radioativo. Segundo o Programa Estadual de Mudanças Climáticas do Estado de São Paulo (PROCLIMA) (acesso em 03 de set. 2020), alguns dos principais gases responsáveis são: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), ozônio troposférico (O₃), clorofluorcarbonetos (CFC's) e vapor d'água.

Uma estimativa da concentração e contribuição dos gases para aquecimento global e seus derivados antropogênicos são apresentados no Quadro.

Quadro 1 – Principais gases de efeito estufa: atribuições e fontes de emissão

	Aumento da concentração desde 1750	Contribuição para o aquecimento global (%)	Principais fontes de emissão
CO ₂	31%	60%	Uso de combustíveis fósseis, deflorestação e alteração dos usos do solo
CH ₄	151%	20%	Produção e consumo de energia (incluindo biomassa), atividades agrícolas, aterros sanitários e águas residuais
N ₂ O	17%	6%	Uso de fertilizantes, produção de ácidos e queima de biomassa e combustíveis fósseis
Halogenados (HFC, PFC e SF ₆)	-	14%	Indústria, refrigeração, aerossóis, propulsores, espumas expandidas e solventes

Fonte: PROCLIMA, 2020

Conforme o PROCLIMA, o dióxido de carbono (CO₂) ocupa cerca de 60% do efeito estufa e é oriundo da queima de combustíveis fósseis como petróleo, carvão mineral e gás natural, assim como de queimadas e desmatamentos que acabam por destruir reservatórios naturais capazes de absorver o CO₂ do ar.

As emissões globais de CO₂ estão crescendo constantemente e atingindo índices cada vez maiores. Um estudo realizado por Corinne Le Quéré e pesquisadores da Universidade de East Anglia (UEA) e do Global Carbon Project, publicado pelo G1 (acesso em 03 de jun. 2020), mostra que:

As emissões da China representam 27% do total global, tendo crescido cerca de 4,7 % em 2018 e atingindo um novo máximo histórico. O crescimento das emissões está ligado à atividade de construção e ao crescimento econômico.

Nas últimas décadas, houve um aumento considerável nas temperaturas médias do planeta, e há muitos indícios de que a atividade humana tenha sido a grande responsável pelas mudanças climáticas já verificadas, especialmente pelo seu crescimento econômico energo-intensivo e por ser fortemente dependente de combustíveis fósseis, aumentando a concentração antropogênica de gases de efeito estufa na atmosfera (TOLEDO, 2019, p.20).

2.3 TELHADOS VERDES

O telhado verde, também conhecido como telhado ecológico, cobertura verde ou biocobertura, é definido pela implantação de vegetação em superfícies construídas, sejam elas residências, edifícios, espaços públicos e entre outras, e destaca-se pelo método construtivo bioclimático, fazendo-se o uso de solos e plantas para a impermeabilização da cobertura, conforme a condição climática, localidade e finalidade.

Com o objetivo de alcançar um bom aproveitamento de todos os benefícios do telhado verde, é imprescindível que a sua instalação siga de maneira correta. A técnica necessita de uma estrutura completamente impermeável, portanto os métodos utilizados na implantação apresentam considerável complexidade (PENDIUK; MOISÉS; PEREIRA, 2017, p.22).

A estrutura de um telhado precisa abrigar um sistema eficiente de camadas funcionais, como é representado na Figura 1:

Figura 1 – As camadas de um telhado verde



Fonte: Integra Projetos e Construções, 2014

O suporte estrutural, ou teto da edificação, é a base do telhado verde, logo deverá sustentar toda a carga proveniente dele. É necessário um estudo específico para a determinação da carga permanente – peso total das camadas do telhado verde e da água retida pela vegetação – e da acidental – mobilidade de pessoas e instrumentos (CORREA, 2002 apud PENDIUK; MOISÉS; PEREIRA, 2017, p.23).

Acima do suporte estrutural, a membrana à prova d'água impede a infiltração de água na cobertura da edificação. Sua instalação deverá proceder de modo a encaminhar o fluxo de água às calhas previamente projetadas (PENDIUK, 2017, p.23).

Conforme Tassi (2014, p.142), a camada de proteção retém a umidade e protege a membrana impermeabilizante, situada sob ela, contra a expansão das raízes da vegetação, prevenindo a cobertura de danificações mecânicas.

Por conseguinte, a camada de drenagem é destinada a reter o excesso de água e direcioná-la para drenos para que possa ser aproveitada pela vegetação em períodos de seca. Sua função evita que haja alagamentos inoportunos e estresse hídrico da vegetação (TASSI, 2014, p.142; HENEINE, 2008, p.25-26).

De acordo com Heneine (2008, p.26), como complemento à camada de drenagem, há o filtro, ou camada filtrante, que desune as camadas de cobertura da camada drenante e reprime materiais orgânicos e humo emigrantes do substrato, evitando o entupimento de drenos e calhas.

O substrato é camada de solo que serve de base para segurar a vegetação e deve ter profundidade adequada para as raízes que dependem da espécie de vegetação escolhida, sendo disposto logo após a camada filtrante. Ele auxilia no processo de drenagem, fornecendo água e nutrientes necessários à estabilidade das plantas (TASSI, 2014, p.142).

Por último, tem-se a cobertura vegetal, devendo ser apropriada às condições climáticas do lugar. Nessa etapa, quando parte da chuva precipitada é absorvida pelo substrato, a outra parte é retida pela vegetação, retardando o escoamento superficial e auxiliando na ação da evapotranspiração (TASSI, 2014).

A ampla biodiversidade vegetal que o telhado verde consegue comportar possibilita a sua produção com múltiplos conceitos. A Associação Internacional de Telhados Verdes (IGRA) (2011) define os telhados verdes em três tipologias: extensivo, semi-intensivo e intensivo.

2.3.1 Telhados verdes extensivos

O extensivo possui uma vegetação de aspecto rasteiro com baixo e lento crescimento, característico de gramíneas e musgos, sem a necessidade de muitas manutenções (Figura 2). Apresenta uma altura da estrutura de 6 cm a 20 cm, podendo ter variação da carga total de 60 kg/ m² a 150 kg/m² (IGRA, 2011).

Jobim (2013, p.16) afirma que “um telhado verde extensivo pode ser construído em praticamente todos os tipos de coberturas (telhas cerâmicas, telhas de fibrocimento, coberturas de aço e lajes), e é relativamente mais barato.”.

Figura 2 – Telhado verde extensivo



Fonte: BLIDARU

2.3.2 Caso existente no Brasil

Apesar do pouco conhecimento em relação à prática do telhado verde no Brasil, alguns casos já ganham destaque. Um dos maiores exemplos é o Colégio Estadual Erich Walter Heine, sendo a primeira instituição de ensino totalmente sustentável da América Latina, erguida em 2011 mediante a uma parceria pública-privada entre a ThyssenKrupp CSA, o governo estadual e a prefeitura do Rio de Janeiro. O colégio foi considerado sustentável pelo World Green Building Council (WGBC), a maior organização mundial que direciona o mercado da construção civil em prol da sustentabilidade (AMDA, 2013).

O Erich Walter Heine College (Figura 3) foi construído na zona oeste de Santa Cruz - RJ, sendo este registrado como um dos bairros mais carentes da cidade e uma das regiões mais quentes da capital, superando os 40°C no verão. Desse modo, o sistema de telhado verde implantado e o formato de cata-vento da edificação ajudam na absorção de calor e melhor ventilação, respectivamente. O sistema permite o armazenamento da água da chuva, que por sua vez é direcionada para uso em jardins, banheiros e limpeza, tendo uma economia de 50% da água potável. A implantação de lâmpadas LED em todo o edifício permite a redução em até 80% do consumo de energia (AMDA, 2013).

Figura 3 – Colégio Estadual Erich Walter Heine



Fonte: ECOTELHADO, 2011

3. METODOLOGIA

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

A presente pesquisa possui natureza do tipo aplicada com abordagem metodológica quantitativa. Por possuir caráter exploratório são utilizados os procedimentos de pesquisa bibliográfica e estudo de caso para coletar informações que enriqueçam, sustentem e embasem as análises a serem feitas no projeto.

3.2 TÉCNICAS PARA COLETA DE DADOS

Foi empregada a formatação em planilha de materiais, serviços e técnicas, sendo essa a ferramenta utilizada na administração pública e em convênios com instituições estatais para processos licitantes do setor de obras públicas do estado do Espírito Santo.

Para a comparação da substituição das coberturas originais pelo telhado verde extensivo, os materiais obtidos no levantamento de ambas as técnicas foram quantificados e logo convertidos para suas massas, para serem multiplicados pelos valores de índices de EE e CO₂, valores esses disponibilizados no Inventário de carbono e energia, de Hammond e Jones

(2008, p.10-57). Os resultados totais foram divididos pelas áreas das respectivas edificações analisadas, findando em valores por m².

3.3 FONTES PARA COLETA DE DADOS

No âmbito da pesquisa exploratória, foram utilizadas como fontes periódicos, documentos e registros institucionais, artigos científicos, dissertações, livros e teses para obtenção do embasamento teórico, caracterizado pelos conceitos da arquitetura escolar em conjunto com a sustentabilidade nas edificações, e procedimentos que tornassem pertinente a execução dos telhados verdes.

3.4 CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA PESQUISADA

O objeto de estudo é uma escola pública municipal, localizada em São Mateus-ES, que compreende séries do 1º ao 9º ano. Este modelo de projeto padronizado é muito usado na concepção de escolas para 1º e 2º grau de Ensino Fundamental.

A EMEF Córrego do Milanez possui uma área de construção térrea de 828,60m² e um segundo pavimento que ocupa 91,40m². Sua edificação se divide em Bloco 1, que acompanha um único pavimento com módulos dimensionados simetricamente, e Bloco 2, que possui cerca de 20% da área total ocupada por um segundo pavimento, contendo uma biblioteca e sala multimídia.

3.5 INSTRUMENTO PARA A COLETA DE DADOS

Através do estudo e da observação, foi gerado o levantamento das informações do colégio em documentos internos usados pela Secretaria Municipal de Educação de São Mateus, que continham dados relativos ao tema estudado e assuntos referentes à reforma de estruturas escolares.

Da mesma maneira, será feita com as bases estatísticas para o dimensionamento dos materiais necessários, o Instituto de Obras Públicas do Espírito Santo (IOPES) e o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), disponibilizadas gratuitamente na internet. As tabelas de composições oferecem referências quanto aos custos, prazos de execuções, materiais e profissionais necessários na execução dos modelos de telhados relacionados às edificações em estudo.

Ao utilizar as bases de índices de energia embutida EE e dióxido de carbono CO₂ já descobertas por Hammond e Jones (2008, p.10-57), será observado no desenvolvimento dos cálculos os sucessivos resultados para posterior análise.

3.6 POSSIBILIDADE DE TRATAMENTO E ANÁLISE DE DADOS

Com as técnicas e métodos aplicados será possível realizar o comparativo entre as duas táticas construtivas e verificar as ocasionais contribuições da aplicação de telhados verdes em edificações escolares.

4. ESTUDO DE CASO

Os conceitos que norteiam a educação vêm sendo há tempos estudados e discutidos, assim como a melhor forma de receber as suas atividades. As instituições escolares são unidades capazes de influenciar seus usuários a partir do investimento no bem-estar do seu espaço, conseqüentemente refletindo nos níveis e métodos de aprendizagem.

Nessa proposta, a readequação da cobertura original empregando telhados verdes extensivos surge como forma de complemento e materialização do conceito de sustentabilidade expressado nos ambientes escolares públicos. A escola pública municipal EMEF Córrego do Milanez (Figura 4) foi o padrão selecionado para a análise e não sofreu qualquer processo de reforma tampouco mudanças na rotina dos usuários e na padronização de edificação escolar aderida.

Figura 4 – Localização do Colégio Córrego do Milanez

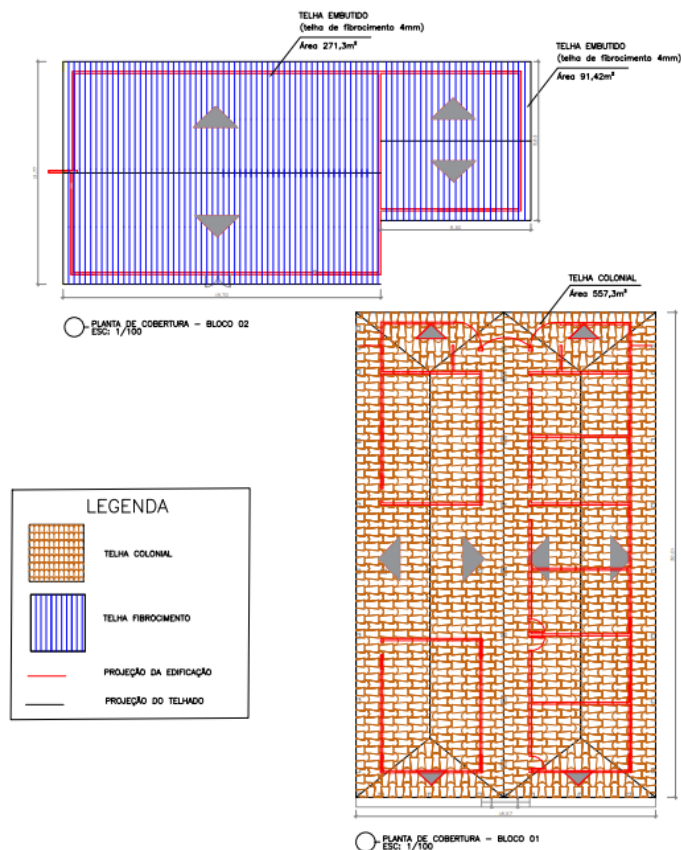


Fonte: Google Maps®, 2020

4.1 ESTUDO DOS TELHADOS ORIGINAIS DO COLÉGIO CÓRREGO DO MILANEZ

A EMEF Córrego do Milanez está localizada no km 28, zona rural do município de São Mateus, e teve sua execução concebida em dois blocos térreos e um segundo pavimento (Figura 5), compostos dos seguintes módulos: 10 salas de aula, sala de diretoria, laboratório de informática, sala de professores, sala de recursos multifuncionais para Atendimento Educacional Especializado (AEE), sala de secretaria, biblioteca, sanitários masculino e feminino infantis adequados a Portadores de Necessidades Especiais (PNE), sanitários para professores e funcionários, refeitório, despensa, almoxarifado, cozinha e dois pátios cobertos.

Figura 5 – Planta de cobertura do Colégio Córrego do Milanez



Fonte: O autor, 2020

Para a determinação da energia embutida e dos valores de CO₂ é preciso calcular a massa em todos os elementos implantados no telhado original. Isto é obtido pelo cálculo da multiplicação entre a densidade, o volume do material e a área da cobertura da edificação. A partir de Hammond e Jones (2008, p.10-57), foram coletados os valores correspondentes à densidade do material.

Os materiais utilizados na implantação foram compilados, quantificados e tabulados conforme a sua funcionalidade, sendo divididos em dois grupos: madeiras (Quadro 2) e telhas (Quadros 3).

Quadro 2 – Cálculo das massas das madeiras usadas na cobertura do Colégio Córrego do Milanez

Quantitativo total das madeiras (estrutura)	Un	Quantidade	Largura (m)	Espessura (m)	Volume (m³)	Densidade (Kg/m³)	Massa (kg)
Ripa 2,5cm x 5,0cm angelim pedra não aparelhada - fornecimento e assentamento	m	316,71	0,05	0,025	0,395892	600	237,54
Viga 6cm x 12cm angelim pedra não aparelhada - fornecimento e assentamento	m	604,08	0,06	0,12	4,349381	600	2.609,63
Viga 6cm x 20cm angelim pedra não aparelhada - fornecimento e assentamento	m	69,89	0,06	0,2	0,83864	600	503,18
Caibro 6cm x 9cm angelim pedra não aparelhada - fornecimento e assentamento	m	63,39	0,06	0,09	0,342306	600	205,38

Fonte: O autor, 2020

Quadro 3 – Determinação das massas das telhas originais do Colégio Córrego do Milanez

Quantitativo total das telhas (cobertura)	Un	Quantidade	Pçs/m² ou Pçs/m²	kg/pç	Massa (kg)
Cobertura de telhas cerâmicas tipo capa e canal; incl. 30%	m²	557,30	25	2,00	27.865,00
Cumeeira de telha cerâmica	m	92,28	3	2,5	692,1
Cobertura de telhas onduladas de fibrocimento 2,44mx0,50m esp:4mm; incl. 10%	m²	362,72	1	4,5	1.632,24
Telha cumeeira de fibrocimento 4mm	m	29,00	1	2,8	81,20

Fonte: O autor, 2020

4.1.1 Cálculo dos valores de energia embutida EE no telhado original

Os componentes da cobertura original tiveram suas massas transformadas para a unidade em quilogramas (kg). Para o cálculo da EE, foi multiplicada a massa (kg) pelos índices EE (MJ) do material, disponibilizados por Hammond e Jones (2008, p.10-57), sendo possível dimensionar a quantidade total de EE por material utilizado na execução da cobertura, de acordo com a equação (1).

$$EE_{total} = EE_{material} \times Massa \quad (1)$$

Onde:

EE_{total} = Energia Embutida total (MJ);

$EE_{material}$ = Energia Embutida do material (MJ/Kg) (HAMMOND e JONES, 2008, p.10-57);

Massa = Massa total do material (Kg).

Quadro 4 – Cálculo da Energia Embutida EE total ligada à cobertura do Colégio Córrego do Milanez

Quantitativo Energia Embutida EE Colégio Córrego do Milanez	Massa (kg)	EEmaterial (MJ/kg)	EEtotal (MJ)	EEtotal (MJ/m ²)
Ripa 2,5cm x 5,0cm angelim pedra não aparelhada - fornecimento e assentamento	237,54	0,72	171,03	0,31
Viga 6cm x 12cm angelim pedra não aparelhada - fornecimento e assentamento	2.609,63	0,72	1.878,93	2,04
Viga 6cm x 20cm angelim pedra não aparelhada - fornecimento e assentamento	503,18	0,72	362,29	0,39
Caibro 6cm x 9cm angelim pedra não aparelhada - fornecimento e assentamento	205,38	0,72	147,88	0,27
Cobertura de telhas cerâmicas tipo capa e canal; incl. 30%	27.865,00	12,00	334.380,00	600,00
Cumeeira de telha cerâmica	692,1	12,00	8.305,20	14,90
Cobertura de telhas onduladas de fibrocimento 2,44mx0,50m esp:4mm; incl. 10%	1.632,24	22,70	37.051,85	102,15
Telha cumeeira de fibrocimento 4mm	81,20	22,70	1.843,24	5,08
EEtotal			384.140,41	725,14

Fonte: O autor, 2020

No quadro 4, devido a implantação da edificação ser concebida em dois tipos de cobertura (cerâmica e fibrocimento), a determinação de EEtotal de cada material por m² é correspondente à área de utilização do material. Desse modo, com a Energia Embutida numa totalidade de 384,14GJ, tem-se o valor de 0,73GJ/m² de construção.

4.1.2 Cálculo dos valores de dióxido de carbono co2 no telhado original

Para o quantitativo referente às emissões de CO₂, considerou-se os índices impostos por Hammond e Jones (2008, p.10-57). Os valores são resultantes da multiplicação entre a massa (kg) e os índices de CO₂ (kg) do material, sendo possível calcular a quantidade total de CO₂ por material utilizado na execução da cobertura, conforme a equação (2).

$$\text{CO}_2 \text{ total} = \text{CO}_2 \text{ material} \times \text{Massa} \quad (2)$$

Onde:

$$\text{CO}_2 \text{ total} = \text{Dióxido de carbono total (Kg)};$$

$CO2_{material} = \text{Dióxido de carbono material (MJ/Kg)} \text{ (HAMMOND e JONES, 2008, p.10-57);}$

$\text{Massa} = \text{Massa total do material (Kg).}$

Quadro 5 – Cálculo do CO2 total ligado à cobertura do Colégio Córrego do Milanez

Quantitativo CO2 Colégio Córrego do Milanez	Massa (kg)	CO2 material (kg/kg)	CO2 total (kg)	CO2 total (kg/m ²)
Ripa 2,5cm x 5,0cm angelim pedra não aparelhada - fornecimento e assentamento	237,54	0,45	106,89	0,19
Viga 6cm x 12cm angelim pedra não aparelhada - fornecimento e assentamento	2.609,63	0,45	1.174,33	1,28
Viga 6cm x 20cm angelim pedra não aparelhada - fornecimento e assentamento	503,18	0,45	226,43	0,25
Caibro 6cm x 9cm angelim pedra não aparelhada - fornecimento e assentamento	205,38	0,45	92,42	0,17
Cobertura de telhas cerâmicas tipo capa e canal; incl. 30%	27.865,00	0,74	20.620,10	37,00
Cumeeira de telha cerâmica	692,1	0,74	512,15	0,92
Cobertura de telhas onduladas de fibrocimento 2,44mx0,50m esp:4mm; incl. 10%	1.632,24	1,28	2.089,27	5,76
Telha cumeeira de fibrocimento 4mm	81,20	1,28	103,94	0,29
CO2total			24.925,54	45,85

Fonte: O autor, 2020

No quadro 5, considerando a implantação da edificação concebida em dois tipos de cobertura (cerâmica e fibrocimento), a determinação de E_{total} de cada material por m² é correspondente à área de utilização do material. Sendo assim, com a emissão de CO2 num total de 24.925,54kg, tem-se o valor de 45,85kg CO2/m² de construção.

4.2 ESTUDO DA READEQUAÇÃO COM TELHADO VERDE EXTENSIVO NAS COBERTURAS ORIGINAIS

Nesta pesquisa, a readequação proposta considera a técnica de telhados verdes extensivos. O uso desta tipologia é baseado na pesquisa de Savi e Tavares (2013), que averiguou ser compatível a implementação deste método a edificações já existentes, uma vez que seu baixo peso saturado apresenta compatibilidade com o peso das estruturas de telhados originais.

Para determinar e quantificar os materiais a serem empregados no telhado verde, utilizou-se como referência as tabelas IOPES (2020) e SINAPI (2020), considerando-se apenas a execução do serviço para 1m² de edificação.

A mão-de-obra não é considerada para os fins de cálculo de Energia Embutida e CO₂, pois não é um índice quantificável para os critérios de sustentabilidade.

De acordo com a composição de Savi (2012), para o telhado verde extensivo proposto foi considerada a implantação de um berço de 3cm de argila expandida e 5cm de substrato. Para a determinação dos índices de EE e CO₂ do substrato, utiliza-se o seguinte traço referido por Ludwig (2014):

- 40% de terra;
- 25% de turfa;
- 20% de cinza de casca de arroz;
- 10% de casca de pinus com granulometria fina;
- 5% de vermiculita expandida;
- 1 kg de NPK 14-16-18 e 1 kg de superfosfato triplo para cada 1000 m³ de substrato.

Ao considerar a diluição do NPK e o superfosfato triplo em 1000m³ de substrato, contestou-se a tendência a 0 dos valores para os fins de cálculos de EE e CO₂, sendo assim ambos foram vetados. Os demais valores referentes ao substrato são calculados no Quadro 6:

Quadro 6 – Determinação de EE e CO₂ relativo ao substrato (por Kg).

Componentes do substrato	Proporção %	EE material (MJ/kg)	EE (MJ/kg)	CO ₂ material (kg)	CO ₂ (kg)
Terra	40	0,45	0,18	0,023	0,0092
Turfa	25	0,45	0,1125	0,023	0,00575
Cinza de casca de arroz	20	8,5	1,7	0,46	0,092
Casca de pinus	10	8,5	0,85	0,46	0,046
Vermiculita	5	7,2	0,36	0,52	0,026
Total			3,2025		0,17895

Fonte: Adaptado de UHMANN (2016)

4.2.1 descrição dos materiais do telhado verde do colégio córrego do milanez

Assim como para o telhado original, na determinação dos valores de EE e CO₂ do telhado verde também é preciso o cálculo das massas de todos os materiais envolvidos. Sendo assim, seguiu-se dois modelos de cálculo: a

multiplicação entre o volume, a densidade do material e a área quantificada e; a massa por m² da área multiplicada pela área total de execução, sendo considerado o rendimento unitário do material para uma área correspondente a 920,02m² de cobertura destinada à readequação por telhado verde extensivo (Quadro 7).

Quadro 7 – Determinação das massas dos materiais do telhado verde extensivo do Colégio Córrego do Milanez

Componentes do Telhado verde extensivo	Un	Rendimento por m ² (conf. SAVI, 2012, SINAPI, 2020 e IOPEs, 2020)	Qtde	Densidade (Kg/m ³)	Massa (kg)	Densidade (Kg/m ³)	Massa (kg)
Impermeabilizante primer asfáltico	l	0,30	276,01			920	253,93
Manta asfáltica atendendo NBR 9952, asfalto polimerizado esp.3mm; larg.1m	m ²	1,15	920,02	3,45	3.174,07		
Geotextil não tecido agulhado de filamentos contínuos 100% poliéster	m ²		920,02	0,12	110,40		
Manta de retenção de nutrientes de não tecido reciclado - 100% poliéster	m ²		920,02	0,6	552,01		
Argila expandida Tipo 3222	m ³	0,03	27,60			450	12.420,27
Substrato	m ³	0,05	46,00	80	73.601,60		

Fonte: O autor, 2020

4.2.2 Cálculo dos valores de energia embutida ee e dióxido de carbono co2 para a cobertura verde

Os cálculos da EE e do CO₂ obedeceram às mesmas equações (1) e (2) anteriormente usadas para o telhado original, empregando índices desenvolvidos por Hammond e Jones (2008). Os Quadros 8 e 9 apresentam os índices de EE e CO₂, respectivamente.

Quadro 8 – Determinação das massas dos materiais do telhado verde extensivo do Colégio Córrego do Milanez

Quantitativo EE Colégio Córrego do Milanez - Telhado verde extensivo	Massa (kg)	EEmaterial (MJ/kg)	EEtotal (MJ)	EEtotal (MJ/m ²)
Impermeabilizante primer asfáltico	253,93	139,32	35.376,90	38,45
Manta asfáltica atendendo NBR 9952, asfalto polimerizado esp.3mm; larg.1m	3.174,07	76,70	243.451,09	264,62
Geotextil não tecido agulhado de filamentos contínuos 100% poliéster	110,40	76,70	8.467,86	9,20
Manta de retenção de nutrientes de não tecido reciclado - 100% poliéster esp.5mm	552,01	76,70	42.339,32	46,02
Argila expandida Tipo 3222	12.420,27	7,20	89.425,94	97,20
Substrato	73.601,60	3,20	235.525,12	256,00
EEtotal			654.586,24	711,49

Fonte: O autor, 2020

No quadro 9, considerando a implantação da edificação numa área total de 920,02m² e a Energia Embutida numa totalidade de 654,59GJ, tem-se o valor de 0,71GJ/m² de construção.

Quadro 9 – Determinação das massas dos materiais do telhado verde extensivo do Colégio Córrego do Milanez

Quantitativo CO2 Colégio Córrego do Milanez - Telhado verde extensivo	Massa (kg)	CO2 material (kg/kg)	CO2 total (kg)	CO2 total (kg/m ²)
Impermeabilizante primer asfáltico	253,93	5,91	1.500,70	1,63
Manta asfáltica atendendo NBR 9952, asfalto polimerizado esp.3mm; larg.1m	4.370,10	1,60	6.992,15	7,60
Geotextil não tecido agulhado de filamentos contínuos 100% poliéster	110,40	1,60	176,64	0,19
Manta de retenção de nutrientes de não tecido reciclado - 100% poliéster esp.5mm	552,01	1,60	883,22	0,96
Argila expandida Tipo 3222	12.420,27	0,52	6.458,54	7,02
Substrato	73.601,60	0,18	13.174,69	14,32
CO2total			29.185,94	31,72

Fonte: O autor, 2020

No quadro 9, considerando a implantação da edificação numa área total de 920,02m² e a emissão de CO2 num total de 29.185,94kg, tem-se o valor de 31,72kg CO2/m² de construção.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A edificação do Colégio Córrego do Milanez foi analisada e comparada, resultando em dados que passaram por tabulação e deram origem a gráficos para propiciar uma análise mais precisa dos dados. Os valores de EE e emissões de CO2 foram calculados considerando o m² de área da edificação para auxiliar no comparativo.

Os dados descobertos de Energia Embutida EE e emissões de CO2 referentes ao telhado original e a readequação por telhados verdes extensivos do Colégio Córrego do Milanez são apresentados no Quadro 10.

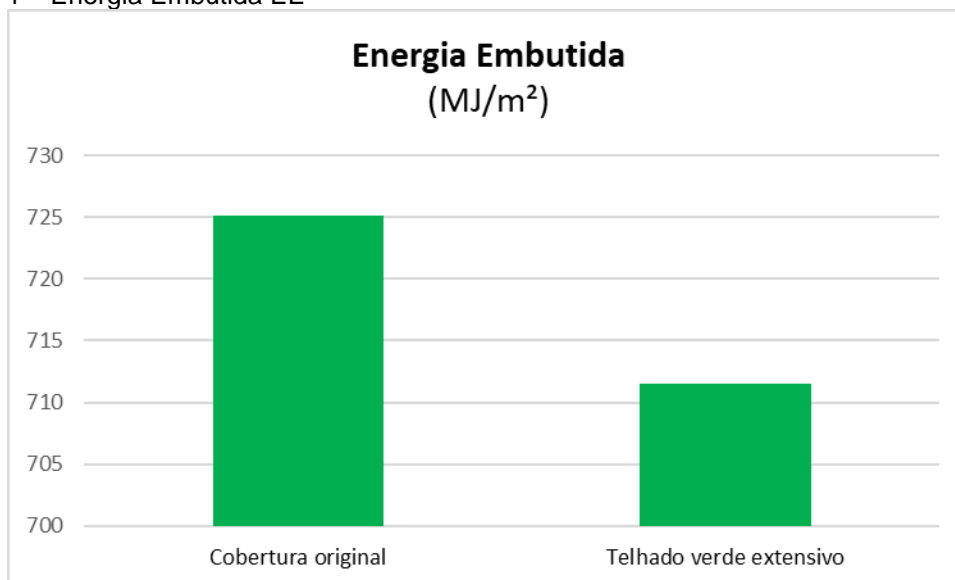
Quadro 10 – Colégio Córrego do Milanez: Energia Embutida EE e emissões de CO2

Comparativo: Cobertura original x Telhado verde extensivo	EE (MJ/m ²)	CO2 (kg/m ²)
Cobertura original	725,14	45,85
Telhado verde extensivo	711,49	31,72

Fonte: O autor, 2020

A quantidade de Energia Embutida é de 725,14MJ/m² para a cobertura original e 711,49MJ/m² para o telhado readequado com a técnica de telhado verde extensivo, retratando uma diferença de 13,65MJ/m², o que evidencia uma redução de 1,88%, de acordo com o que é apresentado no Gráfico 1.

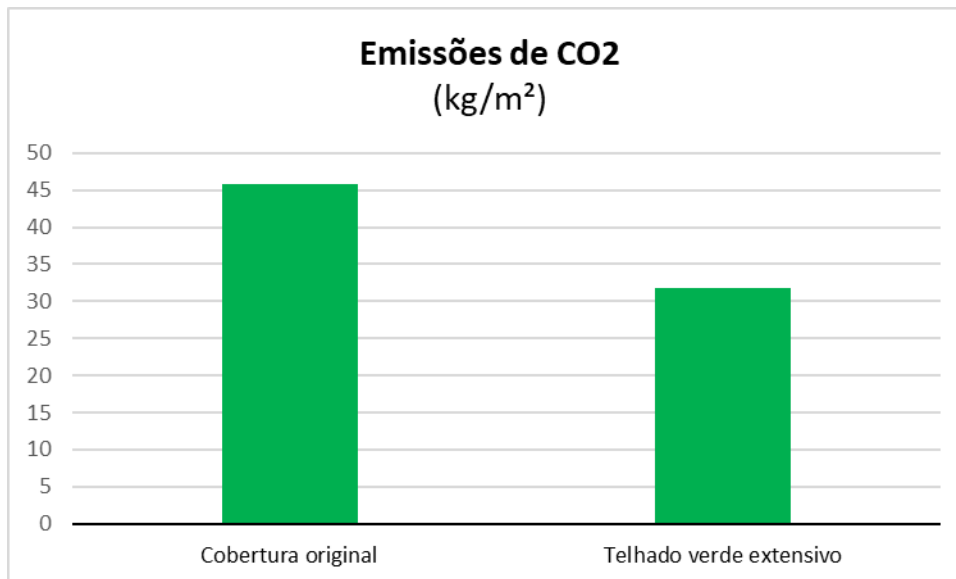
Gráfico 1 – Energia Embutida EE



Fonte: O autor, 2020

Os valores de emissões de CO₂ são de 45,85kg/m² para a cobertura original e 31,72kg/m² para o telhado readequado com a técnica de telhado verde extensivo, retratando uma diferença de 14,13kg/m², o que evidencia uma redução de 30,82%, conforme apresenta o Gráfico 2.

Gráfico 2 – Emissões de Dióxido de carbono CO₂



Fonte: O autor, 2020

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa tem a introdução voltada ao fato de se referenciar os avanços da arquitetura em edifícios escolares, abordando tipologias sustentáveis que elevam os conceitos essenciais para uma edificação de qualidade. Os critérios de sustentabilidade são então considerados na readequação de edificações escolares existentes, visto que não foram avaliados na sua concepção original.

Para isto, esta pesquisa confrontou a substituição da cobertura original da escola pública por telhados verdes extensivos, cuja composição de materiais reduz índices de emissão de CO₂ e gera menor energia embutida, analisando as contribuições provenientes da troca.

No que se refere à energia embutida EE, o colégio apresentou uma redução de 1,88% quando readequado pela cobertura verde do tipo extensiva. Já em relação às emissões de CO₂, obteve uma redução de 30,82%.

Estes valores demonstram um ponto relevante quanto à edificação. A cobertura de telha cerâmica foi o item variante nos resultados devido ao seu alto peso estrutural. Já as telhas de fibrocimento compostas de amianto (substância nociva a saúde) que apresentam altos índices de EE e CO₂, não alcançaram

grandes valores devido ao baixo peso das peças e uma menor área de cobertura, causando um contraste nos resultados finais.

Apesar de tudo, o comparativo mostrou que a pequena variação em relação à energia embutida dos telhados não modificou o fato da edificação ser capaz de suportar o telhado verde extensivo, que apresentou peso equivalente à cobertura original composta por dois tipos distintos de telhado, mas com o diferencial de ser uma cobertura ecológica e sustentável.

Os resultados provenientes das comparações mostram a viabilidade na efetivação da readequação por telhados verdes extensivos, empregando-se uma técnica direcionada à sustentabilidade. Esta, quando relacionada a ambientes escolares, incrementa na qualidade já implantada no espaço educacional pois indaga aos usuários a iniciativa de novos projetos com concepções e diretrizes ecológicas. O inserimento da sustentabilidade na educação da comunidade escolar incentiva as práticas de conservadorismo, respeito ao espaço de convívio e inserção à natureza.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERTO, E. Z.; RECCHIA, F. M.; PENEDO, S. R. M.; PALETTA, F. C. **Estudo do telhado verde nas construções sustentáveis**. In: Proceedings of Safety, Health and Environment World Congress, XII, 2012, São Paulo. **Anais**, 2012. Disponível em: <<http://copec.eu/congresses/shewc2012/proc/works/037.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS ESCRITÓRIOS DE ARQUITETURA – AsBEA. **Recomendação básicas para projetos de arquitetura**. São Paulo, 2007. Disponível em: <http://www.cbcs.org.br/_5dotSystem/userFiles/comite-tematico/projetos/CBCS_CTProjeto_Recomendacoes%20Basicas%20GTS_Asbea_30mar2007.pdf>. Acesso em: 29 mai. 2020.

ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE DEFESA DO AMBIENTE – AMDA. Escola do Rio de Janeiro é a primeira instituição de ensino totalmente sustentável da América Latina. **AMDA**, dez. 2013. Disponível em: <<https://www.amda.org.br/index.php/comunicacao/noticias/3391-escola-do-rio-de-janeiro-e-a-primeira-instituicao-de-ensino-totalmente-sustentavel-da-america-latina>>. Acesso em: 15 jun. 2020.

BLIDARU, V. Sistema de telhado verde para jardins de várias composições e inclinações. **AECweb**. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/emp/cont/m/sistema-de-telhado-verde-para-jardins-de-varias-composicoes-e-inclinacoes_13567_14827>. Acesso em: 13 jun. 2020.

BRASIL. Manual Escolas Sustentáveis. Resolução/CD/FNDE nº 18, de 21 de maio de 2013. **Ministério da Educação**. Disponível em: <http://pdeinterativo.mec.gov.br/escolasustentavel/manuais/Manual_Escolas_Sustentaveis_v%2005.07.2013.pdf>. Acesso em: 29 mai. 2020.

CABRAL, Lorena. O que são os gases do efeito estufa. **eCycle**. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/6037-gases-de-efeito-estufa.html#:~:text=Os%20gases%20de%20efeito%20estufa,halocarbonos%20e%20vapor%20d'%20%C3%A1gua.>>. Acesso em: 01 jun. 2020.

ECOD. Colégio público do Rio é certificado primeira escola sustentável da América Latina. **EcoD**, dez. 2013. Disponível em: <<http://www.ecodesenvolvimento.org/posts/2013/novembro/colegio-publico-do-rio-e-certificado-primeira?tag=educacao>>. Acesso em: 15 jun. 2020.

ECOTELHADO. Ecotelhado presente na primeira escola sustentável da América Latina. **Ecotelhado**, 2011. Disponível em: <<https://ecotelhado.com/sistema/colegio-erich-heine-rj/>>. Acesso em: 15 jun. 2020.

GEHARD, G. L.; BERGMANN, A. C. **O estudo de viabilidade de implantação de telhado verde, abordando diferentes estilos construtivos do telhado verde**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Paranaense, Campus De Toledo, 2018. 25 p. Disponível em: <<https://tcc.unipar.br/files/tccs/2eb75a971128ea62a9a080afbe06f3c3.pdf>>. Acesso em: 29 mai. 2020.

GLOBO. Emissões globais de CO2 crescem e atingem maior alta da história, diz estudo. **G1**, dez. 2018. Disponível em: <<https://g1.globo.com/natureza/noticia/2018/12/06/emissoes-globais-de-co2-crescem-e-atingem-maior-alta-da-historia-diz-estudo.ghtml>>. Acesso em: 03 jun. 2020.

HAMMOND, G; JONES C. **Inventory of carbon & energy (ICE)**. University of Bath. UK, 2008. Disponível em: <<https://greenbuildingencyclopaedia.uk/wp-content/uploads/2014/07/Full-BSRIA-ICE-guide.pdf>>. Acesso em: 16 de jun. 2020.

HENEINE, M. C. A. S. **Cobertura Verde**. Monografia (Especialização em Tecnologia e produtividade das construções) – Curso de Especialização em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

49 p. Disponível em:<https://docplayer.com.br/5312025-Monografia-cobertura-verde-autor-maria-cristina-almeida-de-souza-heneine-orientadores-professor-firmino-siqueira-professor-dalmo-mendes-figueiredo.html#download_tab_content>. Acesso em: 12 jun. 2020.

INSTITUTO DE OBRAS PÚBLICAS DO ESPÍRITO SANTO. **IOPES**. Referencial de Preços. 2020. Disponível em:<<https://iopes.es.gov.br/referencial-preco-1>>. Acesso em: 17 jun. 2020.

Integra Projetos e Construções. Telhado Verde. **Facebook**, 2014. Disponível em:<<https://www.facebook.com/integra.construcoes/photos/a.444064478984360/735038486553623/?type=3&theater>>. Acesso em: 12 jun. 2020.

INTERNACIONAL GREEN ROOF ASSOCIATION – **IGRA**, 2011. Disponível em <http://www.igra-world.com/types_of_green_roofs/index.php> Acesso em: 12 jun. 2020.

JOBIM, A. L. **Diferentes tipos de telhados verdes no controle quantitativo da água pluvial**. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS, 2013. 76 p. Disponível em:<<https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/7842/JOBIM,%20ALAN%20AMBERTI.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 13 jun. 2020.

KOWALTOWSKI, D.C.C.K. **Arquitetura escolar – o projeto do ambiente de ensino**. Ed. 1. São Paulo: Oficina de textos, 2011.

LUDWIG, F.; GUERRERO, A. C.; FERNANDES, D. M. Caracterização física e química de substratos formulados com casca de pinus e terra de subsolo. **Cultivando o Saber**, v. 7, n. 2, p. 152-162, 2014. Disponível em:<https://www.fag.edu.br/upload/revista/cultivando_o_saber/54eb1bc553f98.pdf>. Acesso em: 15 out. 2020.

MARCOS, M. H. C. **Método de obtenção de dados de impactos ambientais, durante o processo de desenvolvimento do projeto, através do uso de ferramenta BIM**. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015. 144 p. Disponível em:<<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-15072015-124819/publico/MICHELINEHELENCOTMARCOS.pdf>>. Acesso em: 01 jun. 2020.

MARTINS, Bruno. A sustentabilidade na construção civil. **Jornal do Comércio**, Porto Alegre, 06 jun. 2012. Disponível em:<<https://www.jornaldocomercio.com/site/noticia.php?codn=95276>>. Acesso em: 29 mai. 2020.

PENDIUK, F.; MOISÉS, C.; PEREIRA, M. P. Telhado verde: a evolução da tecnologia e suas funcionalidades. **Revista eletrônica dos Cursos de Engenharia**, v. 1, n. 3, p. 19-37, 2017. Disponível em: <<http://www.opet.com.br/faculdade/revista-engenharias/pdf/n3/Artigo3-n3-Fabio-Pein.pdf>>. Acesso em: 12 jun. 2020.

PROGRAMA ESTADUAL DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Gases do Efeito Estufa e Fontes de Emissão. **PROCLIMA**, 2020. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/proclima/gases-do-efeito-estufa/>>. Acesso em: 03 jun. 2020.

RODRIGUES, G.; CASTRO, W. S.; FERNANDES, A. L. V.; PARANAIBA, N. S. C. T.; JUNIOR, C. R. F.; MICHELAN, N. Sustentabilidade na construção civil: benefícios ambientais e econômicos. **Revista Conexão Eletrônica**, v. 14, n. 1, p. 2087-2097, 2017.

SAVI, A.C.; TAVARES, S.F. **Telhados verdes: Análise comparativa de custo e peso com sistemas tradicionais de cobertura**. ENCAC, ELACAC. Brasília. 2013.

SAVI, A. C. **Telhados Verdes: análise comparativa de custo com sistemas tradicionais de cobertura**. Monografia (Especialização em Construções Sustentáveis) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012. 128p. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/6170881/telhados-verdes-analise-comparativa-de-custo-com-sistemas-tradicionais-de-cobert>>. Acesso em: 14 out. 2020.

SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL. **SINAPI**. Referências de preços e custos. 2020. Disponível em: <<http://www.caixa.gov.br/poder-publico/apoio-poder-publico/sinapi/referencias-precos-insumos/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 17 jun. 2020.

TASSI, R.; TASSINARI, L. C. S.; PICCILLI, D. G. A.; PERSCH, C. G. Telhado verde: uma alternativa sustentável para a gestão das águas pluviais. **Ambiente Construído, Porto Alegre**, v. 14, n. 1, p. 139-154, jan./mar. 2014. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/ac/v14n1/v14n1a12.pdf>>. Acesso em: 12 jun. 2020.

TEODORO, M. I. T. M. **Energia embutida na construção de edificações no Brasil: contribuições para o desenvolvimento de políticas públicas a partir de um estudo de caso em Mato Grosso do Sul**. Tese (Doutorado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Energia do Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017. 234 p. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/106/106131/tde-01022018-151533/publico/Tese_Versao_Corrigida_Maria_Ines_Teodoro.pdf>. Acesso em: 30 mai. 2020.

TOLEDO, A. L. L. **Emissões de gases de efeito estufa da mobilidade urbana: o caso de natal.** Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) – Programa de Pós-graduação em Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019. 148 p. Disponível em: <http://www.ppe.ufrj.br/images/publica%C3%A7%C3%B5es/doutorado/Andr%C3%A9_Toledo._DOCTORADO-2019.pdf>. Acesso em: 03 jun. 2020.

TORGAL, F. P.; JALALI, S. **A Sustentabilidade dos Materiais de Construção.** Ed. 2. Portugal: TecMinho, 2010. 462p. Disponível em: <http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/28852/3/Livro_2a_edicao.pdf>. Acesso em: 30 mai. 2020.

UHMANN, I. M. S. **Readequação de coberturas através da técnica de telhados verdes: estudo de caso nas escolas públicas do estado do Paraná.** Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016. 134 p. Disponível em: <<https://www.prppg.ufpr.br/siga/visitante/trabalhoConclusaoWS?idpessoal=11915&idprograma=40001016049P2&anobase=2015&idtc=1>>. Acesso em: 30 mai. 2020.

