

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL NA UTILIZAÇÃO DE TELHADOS VERDES EXTENSIVOS EM ESCOLAS PÚBLICAS DO PARANÁ

Evaluation of environmental performance in use of extensive green roofs in public schools of Paraná

Isaura Marques de Souza Uhmans¹, Sérgio Fernando Tavares²

Recebido em 18 de maio de 2016; recebido para revisão em 21 de julho de 2016; aceito em 30 de outubro de 2016; disponível on-line em 13 de março de 2017.



PALAVRAS CHAVE:

Edificação escolar;
Escola pública;
Energia embutida;
Emissão de CO₂;
Telhado verde.

KEYWORDS:

School building;
Public school;
Built energy;
CO₂ emission;
Green roofs.

RESUMO: Em um contexto onde a arquitetura discute seu papel na busca por um mundo mais sustentável, destaca-se a presença destes aspectos no edifício escolar. No Brasil as condições de projeto e manutenção deste tipo de construção não são as mais adequadas. Dentre os problemas que mais afligem esta tipologia arquitetônica estão as más condições das coberturas, que além de prejudicar sua utilização pelos usuários comprometem a edificação, diminuindo sua vida útil. O objetivo dessa pesquisa é avaliar índices de Energia Embutida EE e emissão de CO₂ entre o sistema de cobertura tradicional e o sistema de telhado verde extensivo proposto para substituição das coberturas originalmente implementadas nas escolas da rede pública do Paraná. A pesquisa tem natureza exploratória com aplicação em estudo de caso. Para estes estudos foi utilizada a formatação em planilhas, cuja estratégia é avaliar a substituição das coberturas convencionais por telhados verdes, atendendo orientações da legislação de licitações, administração pública e convênios com a participação de instituições estatais. Os dados de Energia Embutida EE e emissão de CO₂ avaliados apontam para a viabilidade na implementação da readequação por telhados verdes extensivos. A principal contribuição deste trabalho é a implementação de uma técnica mais sustentável em edificações públicas escolares podendo inclusive apontar para novas posturas na concepção e execução de obras desta natureza

ABSTRACT: In a context where the architecture discusses its role in the search for a more sustainable world, there is the presence of these aspects in the school building. In Brazil design conditions and maintenance of this type of construction are less suitable. Among the problems that afflict most school buildings are to poor coverage, which in addition to discomfort for users to undertake the life of the building. The objective of this research is to evaluate rates of EE embedded energy and CO₂ emissions between traditional roofing system and extensive green roof system proposed to replace the covers originally implemented in Paraná public schools. The research is exploratory in nature with application case study. For these studies we used the formatting in spreadsheets, thus meeting guidelines bidding law, public administration and agreements with the participation of state institutions. The strategy is to evaluate through simulation tables, replacing the conventional covers for green roofs. Data assessed in these simulations indicate the feasibility for implementation by readjusting the extensive green roofs, thus using more sustainable technology. It is also observed the feasibility of a standard design change currently in effect.

* Contato com os autores:

¹ e-mail: isaura.uhmann@gmail.com (I. M. S. Uhmans)

Arquiteta e Urbanista, Mestre em Engenharia da Construção Civil pela Universidade Federal do Paraná – UFPR.

² e-mail: sergiotavares@gmail.com (S. F. Tavares)

Arquiteto e Urbanista, Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina, Professor do Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Paraná – UFPR.

1. INTRODUÇÃO

O ambiente físico escolar é, por essência, o local do desenvolvimento do processo de ensino e aprendizagem. O edifício escolar deve ser analisado como resultado da expressão cultural de uma comunidade, por refletir e expressar aspectos que vão além de sua materialidade (KOWALTOWSKI, 2011).

A proposta de readequação de coberturas de instituições públicas escolares busca racionalizar os recursos disponíveis para obras de reparos, manutenção e melhorias, visto que também deve proporcionar maior durabilidade comparativamente às técnicas construtivas inicialmente implementadas.

A utilização de telhados verdes extensivos pode ser uma alternativa para o *retrofit* de edifícios públicos e possibilita pouca manutenção comparativamente aos tipos semi-intensivo e intensivo.

A reabilitação permite atualizar o nível de conforto dos edifícios, o seu aspecto arquitetônico, a durabilidade do edifício e ainda diminuir os impactos ambientais de uma operação urbanística, quando comparadas com uma nova edificação (MACEDO e MATEUS, 2011).

O Estado tem o papel de induzir toda a sociedade no sentido de realizar mudanças de padrões de sustentabilidade, utilizando sua capacidade de contratação para estimular obras que possuem, intrinsecamente, os critérios de sustentabilidade regidos em lei.

Este artigo busca explicitar que a readequação dos telhados convencionais substituídos por telhados verdes extensivos podem ser uma alternativa viável, buscando racionalizar os recursos disponíveis para obras de reparos, manutenção e melhorias. Propiciam a utilização de materiais de maior durabilidade comparativamente às técnicas originais, além de proporcionar menores gastos energéticos oriundos do isolamento térmico que a utilização de telhados verdes proporciona.

Ressalta-se que as obras são financeiramente custeadas pelo contribuinte brasileiro e o retorno econômico dessa aplicação reverte-se na conservação e qualidade do bem

público edificado.

2. OBJETIVO

Diante deste panorama e atendendo a necessidade de adotar novas posturas projetuais alinhadas às diretrizes de sustentabilidade, o objetivo do presente artigo é avaliar a substituição das coberturas originais por telhados verdes extensivos, comparando índices de energia embutida e emissão de CO₂, aplicadas a dois tipos de projetos padrões adotados atualmente no estado do Paraná.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 ARQUITETURA ESCOLAR PÚBLICA

As unidades escolares já edificadas são incorporadas à vida das comunidades, muitas vezes caracterizando o elo de convivência entre os cidadãos desses locais, e frequentemente incorporando, além do papel de prover educação, o de estreitar e possibilitar o acesso à cultura e ao lazer dessas comunidades. A influência do design, ambiência e elementos de projeto está relacionada à forma de como um prédio escolar e seus espaços interno e externo são utilizados para permitir o aprendizado e o desenvolvimento de novos conhecimentos. O design de uma edificação escolar deve se concentrar na criação de experiências e descobertas de aprendizagem que fazem o uso eficiente dos sistemas do prédio da escola, em uma perspectiva mais sustentável, juntamente com o entorno em que está inserido, tornando-o parte integrante da educação continuada dos alunos (KOWALTOWSKI, 2011).

Segundo Kowaltowski (2011), a arquitetura sustentável é uma das chaves para projetos de alto padrão de desempenho e deve ser explorada como uma ferramenta de ensino sobre a importância dessa prática para o planeta. As escolas são instituições importantes, e o investimento na qualidade do ambiente reflete diretamente sobre os seus usuários e influencia os níveis de aprendizagem. O ambiente físico pode ser um aliado ao ambiente humano. O desempenho dos ambientes não gira apenas em torno da eficiência

energética e de recursos, mas de uma escola saudável, com um espaço adequado a educação de qualidade. As discussões sobre arquitetura bioclimática e arquitetura sustentável em projetos de escolas de alto padrão de desempenho se cruzam em um ponto comum, que é a possibilidade de os alunos aprenderem a importância da conservação dos recursos naturais num espaço adequado.

Conforme Brasil (2015), a resolução CD/FNDE nº 18, de 03 de setembro de 2014 discorre sobre a definição de espaços educadores sustentáveis, onde são considerados aqueles em que são desenvolvidos processos educativos permanentes e continuados, capazes de sensibilizar a comunidade escolar para a construção de uma sociedade de direitos, ambientalmente justa e sustentável, fomentando ações que abranjam as dimensões currículo, gestão, espaço físico e comunidade escolar e que compensem seus impactos ambientais com o desenvolvimento de tecnologias apropriadas, de modo a garantir qualidade de vida às presentes e futuras gerações, na intencionalidade de educarem para a sustentabilidade socioambiental, tornando-se referência em seu território.

O estado do Paraná utiliza projetos padrão na implantação de suas escolas. A adoção de projetos padrão para as edificações escolares tem sido uma das causas de problemas de conforto

ambiental. A padronização, muitas vezes, não leva em conta situações locais específicas, resultando em ambientes escolares desfavoráveis. O projeto-padrão necessita de flexibilidade, de modo a permitir ajustes para condições peculiares de implantação (KOWALTOWSKI, 2011). O partido arquitetônico do projeto padrão procura atender objetivos econômicos bem como a racionalidade construtiva e a funcionalidade. Os projetos padrões do estado são compostos por módulos que atendem a todas as necessidades em termos de espaços pedagógicos das escolas estaduais. Essas edificações são projetadas para atender alunos do 6º ano ao 9º ano do ensino fundamental, ensino médio regular e profissionalizante, educação de jovens e adultos (EJA) e cursos de curta duração destinados à comunidade em geral. Atualmente, os padrões vigentes em utilização são: 023, 025 e 026. O projeto padrão 026 é composto por uma única edificação que contém todos os ambientes agrupados em um único bloco e não são modulares. Os padrões 023 e 025 têm características bastante similares e diferem basicamente no número de pavimentos que possui, por isso serão as tipologias abordadas nesta pesquisa. Por meio da Figura 1 podem ser vistos os projetos padrões 025 (a) e 023 (b) em utilização nas implantações arquitetônicas das escolas paranaenses.



[a]



[b]

FIGURA 1: Módulo salas de aula: [a] Projeto padrão 025 e [b] projeto padrão 023.

FONTE: Secretaria de Estado da Educação do Paraná, 2015.

3.2 APLICAÇÃO DE TELHADOS VERDES

Conforme citado por Minke (2005) os telhados verdes são conhecidos há séculos, tanto em climas frios da Islândia, Escandinávia, Estados Unidos e Canadá, como nos climas quentes da Tanzânia. Nas zonas de climas frios, aumentam a temperatura interna já que armazenam o calor dos ambientes e nos climas quentes diminuem a temperatura interna visto que mantêm isolados os ambientes internos das altas temperaturas do meio exterior. Telhados verdes são estruturas de cobertura onde são aplicadas diversas camadas, entre elas camadas de solo e vegetação. Apesar de ser mais comum encontrar telhados verdes sobre lajes, o telhado verde é um sistema construtivo que pode permitir variações e aplicação sobre diversas superfícies e estruturas. Os telhados verdes modernistas eram quase sempre encontrados sobre lajes planas de concreto, porém em alguns países, como a Alemanha e outros países nórdicos, é comum observar esse tipo de telhado em coberturas inclinadas. São construídos em diferentes camadas e espessuras variáveis, porém normalmente consistem de uma camada de barreira de raiz, drenagem, filtro, meio de cultura ou substrato e por último a camada de vegetação.

Adicionalmente, são considerados benefícios como melhoria da qualidade do ar, maior isolamento termo acústico, aumento do tempo de vida útil, diminuição das patologias em sistemas construtivos, diminuição do estresse urbano e criação de novas paisagens na morfologia urbana.

Existem três principais tipologias construtivas de telhados verdes: extensivos, semi-intensivos e intensivos. Esta pesquisa considera a utilização do tipo extensivo caracterizada pelo seu baixo peso (70 a 170 kg/m²), pela camada de substrato delgada (5 a 15 cm), pela baixa necessidade de manutenção onde recebem vegetação de plantas rasteiras e resistentes a condições climáticas severas, tipicamente sedum ou gramado. Apresentam uma estrutura de baixo peso próprio minimizando sobrecargas na estrutura edificada existente (HENEINE, 2008 apud TASSI, 2014).

Estudos de Peck et al. (1999) indicam que telhados verdes podem ser incorporados em

coberturas existentes sem necessidade de modificações estruturais e podendo ser edificados com inclinações de até 40%.

Recuperar o meio consiste em reabilitar edifícios e espaços para as novas funções urbanas e ambientais. A aplicação de telhados verdes pode ser uma altamente viável na readequação de coberturas. Os telhados verdes são conhecidos por converter a superfície de um telhado convencional em um espaço multifuncional, utilizando para isso a vegetação (BIANCHINI e HEWAGE, 2011).

3.3 ENERGIA EMBUTIDA E EMISSÃO DE CO₂ NAS COBERTURAS

O cálculo de energia embutida é utilizado para medir o impacto ambiental das construções, e é considerado um indicador de sustentabilidade de edificações. Considera-se como energia embutida, toda aquela utilizada para a fabricação dos materiais que serão usados na construção de um edifício, e contempla desde a extração desses materiais até o destino final na obra, incluindo nisso o transporte das matérias primas e dos produtos finais (GRAF e TAVARES, 2010). É uma ferramenta importante quando utilizada na comparação entre técnicas construtivas e de apoio a decisões de arquitetos e engenheiros quando da concepção de espaços e direcionamento de técnicas construtivas.

Segundo Sanquetta et al. (2013), nos últimos anos as mudanças climáticas têm sido constantemente enfatizadas pelos diferentes canais da sociedade civil, causando preocupação aos governos, à população e aos cientistas em todo o mundo. O principal efeito seria o de aumentar a temperatura na biosfera acarretando mudanças climáticas, como o aumento do nível dos mares por expansão térmica dos oceanos e degelo das camadas polares. Resumidamente o acúmulo destes gases na atmosfera retém parte do calor do sol pela absorção de radiação infravermelha que, de outra forma, seria refletida de volta ao espaço sideral (TAVARES, 2006). Entre os gases do efeito estufa, inclui-se: vapor d'água, dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), ozônio troposférico (O₃) e clorofluocarbonetos (CFC's). Destes, o CO₂ de natureza antropogênica, é o mais importante em termos de efeito radioativo - com

aproximadamente 55% das emissões - e também o mais significativo no que diz respeito à produção dos materiais de construção (BUCHANAN e HONEY, 1994).

4. MÉTODO

A pesquisa realizada apresenta uma estrutura de projeto múltiplo, com caráter exploratório e abordagem quantitativa por meio de aplicação em estudo de caso.

Para estes estudos foi utilizada a formatação em planilhas, visto que esta forma atende as orientações de legislação de licitações, administração pública e convênios com a participação de instituições estatais. A planilha considera serviços, materiais e técnicas construtivas no Paraná. A estratégia é simular através de tabelas, a substituição das coberturas convencionais por telhados verdes tipo extensivo. Para tal, os materiais empregados foram quantificados e convertidos para suas respectivas massas, em ambas as técnicas: original e telhado verde. Os valores totalizados foram multiplicados pelos índices de energia embutida EE e CO₂ encontrados por Hammond e Jones (2009). Os valores encontrados foram divididos pela área das edificações estudadas gerando assim valores por m², possibilitando comparativos entre os dois padrões distintos objetos do estudo de caso e verificando as eventuais contribuições na implementação de telhados verdes.

4.1 ESTUDO DAS COBERTURAS ORIGINAIS

Para a proposta de readequação através da técnica de telhados verdes em substituição das coberturas originais dos colégios estaduais do Paraná, foi proposta a análise de 02 padrões amplamente utilizados atualmente na implantação arquitetônica de edificações escolares: o projeto padrão 025 (Caso A) e o projeto padrão 023 (Caso B), que serão estudados a seguir.

4.1.2 Caso A: Estudo da cobertura original do Caso A – projeto padrão 025/SUDE

O projeto do Colégio Estadual do Caso A localizado no município de Curitiba, teve sua implantação concebida no padrão 025. Trata-se de um padrão executado em um único pavimento e é amplamente utilizado nas implantações de escolas urbanas e rurais em regiões distintas do estado do Paraná.

As quantidades requeridas para a execução da cobertura foram compiladas. Como o cálculo de energia embutida EE e CO₂ requerem que as quantidades estejam determinadas em massa, foi executado o cálculo do volume multiplicado pela densidade do material e multiplicado pela área da cobertura objeto do estudo de caso.

Primeiramente, foi realizado o cálculo da EE de cada material componente da cobertura da edificação escolar. Para tal, foram consideradas a massa (Kg) e os índices de EE levantados por Hammond e Jones (2008). Os valores resultam da aplicação da Equação 1:

$$EE_{total} = Massa_{material} \times EE_{material} \quad Eq.[1]$$

Em que:

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

Massa_{material} = Massa do material (densidade X volume) (kg);

EE_{material} = Energia Embutida do material (MJ/Kg).

A aplicação da fórmula fornece valores de EE por material empregado na composição da cobertura. O valor da EE total envolvida na execução de toda a cobertura é obtido através da aplicação da Equação 2:

$$EE_{total} = EE_{material\ 1} + EE_{material\ 2} + EE_{material\ 3} + \dots + EE_{material\ n} \quad Eq.[2]$$

Em que:

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

EE_{material} = Energia Embutida do material (MJ/Kg).

TABELA 1: Cálculo da Energia Embutida EE total envolvida na execução da cobertura do Caso A.

	Massa (kg)	EE material (MJ/Kg)	EE total (MJ)
Estrutura metálica	22.635,19	36,80	832.974,99
Ripa 1"X2" pinus/cambará	6.808,69	0,72	4.902,26
Caibro 1"X6" pinus/cambará		0,72	3.317,13
Caibro 2"X6" pinus/cambará	9.214,26	0,72	6.634,27
Imunização de madeiramento	486,92	50,00	24.346,10
Fundo preparador primer a base de epóxi	85,33	139,32	11.888,79
Cobertura em telha cerâmica tipo francesa ou marseille	121.267,56	9,00	1.091.408,06
Cumeeira com telha cerâmica emboçada	2.033,85	9,00	18.304,65
Rufo chapa ferro galvanizado nº 26	443,59	39,00	17.299,85
Pintura tinta fosfatizante 2 demãos	42,15	68,00	2.866,48
Pintura tinta grafite esmalte	31,85	68,00	2.165,61
EE total			2.016.108,20

FONTE: Uhmman (2016).

Para possibilitar comparativos considerando o metro quadrado de construção, o total de energia embutida EE de 2.016,11 GJ (Tabela 1) foi dividido pela área de 1.911,60 m² referente à edificação escolar estudada, onde se obteve o valor de 1,05 GJ/m² de construção.

Seguindo a metodologia do cálculo da energia embutida EE, foi realizado o cálculo do CO₂ de cada material componente da cobertura da edificação escolar. Para tal, foram consideradas a massa (Kg) e os índices de CO₂ levantados por Hammond e Jones (2008). Os valores resultam da aplicação da Equação 3:

$$CO_2 \text{ total} = \text{Massa}_{\text{material}} \times CO_2 \text{ material} \quad \text{Eq. [3]}$$

Em que:

CO₂ total = Dióxido de carbono total (Kg/Kg);

Massa_{material} = Massa do material (densidade X volume) (kg);

CO₂ material = Dióxido de carbono do material (Kg/Kg). A aplicação da fórmula fornece valores de CO₂ por material empregado na composição da cobertura. O valor do CO₂ total envolvido na execução de toda a cobertura é obtido através da aplicação da Equação 4:

$$CO_2 \text{ total} = CO_2 \text{ material 1} + CO_2 \text{ material 2} + CO_2 \text{ material 3} + \dots + CO_2 \text{ material n} \quad \text{Eq. [4]}$$

Em que:

CO₂ total = Dióxido de carbono total (Kg/Kg);

CO₂ material = Dióxido de carbono do material (Kg/Kg).

Considerando a área total de implantação da edificação de 1.911,60 m² e um total de emissão de CO₂ de 149.580,92 Kg (Tabela 2) obteve-se o valor de 78,25Kg CO₂/m² de construção.

TABELA 2: Cálculo da Emissão de CO₂ total envolvida na execução da cobertura do Caso A.

	Massa (kg)	CO₂ material (Kg)	CO₂ total (Kg)
Estrutura metálica	22.635,19	2,78	62.925,83
Ripa 1"X2" pinus/cambará	6.808,69	0,45	3.063,91
Caibro 1"X6" pinus/cambará	4.607,13	0,45	2.073,21
Caibro 2"X6" pinus/cambará	9.214,26	0,45	4.146,42
Imunização de madeiramento	486,92	5,35	2.605,03
Fundo preparador primer a base de epóxi	85,33	5,91	504,33
Cobertura em telha cerâmica tipo francesa ou marselha	121.267,56	0,59	71.547,86
Cumeeira com telha cerâmica emboçada	2.033,85	0,59	1.199,97
Rufo chapa ferro galvanizado nº 26	443,59	2,82	1.250,91
Pintura tinta fosfatizante 2 demãos	42,15	3,56	150,07
Pintura tinta grafite esmalte	31,85	3,56	113,38
CO₂ total			149.580,92

FONTE: Uhmman (2016).

4.1.2 Caso B: Estudo da cobertura original do Caso B – projeto padrão 023/SUDE

O projeto do Colégio Estadual do Caso B localizado no bairro Cachoeira, município de Curitiba, teve sua implantação concebida no padrão intitulado 023. Trata-se de um padrão executado em dois pavimentos e é amplamente utilizado nas implantações de escolas urbanas. Possibilita sua execução em terrenos de menores dimensões comparativamente ao projeto padrão 025 que é executado em um único pavimento e requer áreas maiores.

Seguindo a mesma metodologia do Caso A, foram determinadas as massas para todos os componentes do telhado original do Caso B e assim foram encontrados os índices de energia embutida EE e emissão de CO₂, conforme Tabela 3 e 4 respectivamente.

Considerando a área total de implantação da edificação de 1.354,42 m² e um total de energia embutida de 2.198,21 GJ (Tabela 3), obteve-se o

valor de 1,62GJ/m² de construção.

Considerando a área total de implantação da edificação de 1.354,42 m² e um total de emissão de CO₂ de 164.557,03 Kg (Tabela 4) obteve-se o valor de 121,50Kg CO₂/m² de construção.

4.2 ESTUDO DAS COBERTURAS READEQUADAS ATRAVÉS DA TÉCNICA DE TELHADOS VERDES EXTENSIVOS

A readequação proposta considera a utilização de telhados verdes vernaculares do tipo extensivo. A utilização desta tipologia baseia-se na pesquisa de Savi e Tavares (2013), que verificou a compatibilidade da implementação desta tipologia a edificações já existentes, visto que seu baixo peso saturado é compatível com o peso das estruturas de coberturas originais. O cálculo da massa para a implementação de telhados verdes seguiu a mesma metodologia utilizada para a determinação da massa da cobertura original.

TABELA 3: Cálculo da Energia Embutida EE total envolvida na execução da cobertura do Caso B.

	Massa (kg)	EE material (MJ/Kg)	EE total (MJ)
Estrutura metálica	47.449,74	36,80	1.746.150,43
Ripa 1"X2" pinus/cambará	2.691,49	0,72	1.937,88
Pintura esmalte fosco	139,48	68,00	9.484,97
Cobertura em telha cerâmica tipo francesa ou marselha	44.845,32	9,00	403.607,88
Cumeeira com telha cerâmica emboçada	375,10	9,00	3.375,92
Imunização de madeiramento	134,12	50,00	6.706,00
Rufo chapa ferro galvanizado nº 26	443,59	39,00	17.299,85
Pintura tinta grafite esmalte	141,86	68,00	9.646,48
EE total			2.198.209,41

FONTE: Uhmman (2016).

TABELA 4: Cálculo da Emissão de CO₂ envolvida na execução da cobertura do Caso B.

	Massa (kg)	CO₂ material (Kg)	CO₂ total (Kg)
Estrutura metálica	47.449,74	2,78	131.910,28
Ripa 1"X2" pinus/cambará	2.691,49	0,45	1.211,17
Pintura esmalte fosco	139,48	3,56	496,57
Cobertura em telha cerâmica tipo francesa ou marselha	44.845,32	0,59	26.458,74
Cumeeira com telha cerâmica emboçada	375,10	5,35	2.006,80
Imunização de madeiramento	134,12	5,35	717,54
Rufo chapa ferro galvanizado nº 26	443,59	2,82	1.250,91
Pintura tinta grafite esmalte	141,86	3,56	505,02
Total CO₂			164.557,03

FONTE: Uhmman (2016).

4.2.1 Caso A: Readequação da cobertura do Colégio Estadual Aníbal Khury através da técnica de telhados verdes extensivos

Para a determinação da energia embutida EE foram considerados os índices levantados por Hammond e Jones (2008). Os valores resultam da multiplicação da massa (Kg) pelos índices energia embutida EE (MJ), onde é possível verificar os valores de EE por material empregado na composição do telhado verde e o valor total para a execução deste elemento (Tabela 5).

Considerando a área total de implantação da edificação de 1.911,60 m² e um total de energia embutida de 1.462,9 GJ, obteve-se o valor de 765,29 MJ/m² de construção.

O cálculo da emissão de CO₂ seguiu a mesma metodologia adotada para a determinação da EE e estão apresentados na Tabela 6.

Considerando a área total de implantação da edificação de 1.911,60 m² e um total de emissão de CO₂ de 59.897,85 Kg obteve-se o valor de 31,33Kg de CO₂/m² de construção.

TABELA 5: Cálculo da Energia Embutida EE total do Caso A com utilização de telhado verde vernacular.

	Massa (kg)	EE material (MJ/Kg)	EE total (MJ)
Tinta betuminosa primer	894,63	139,32	124.639,68
Manta asfáltica polimérica estruturada não tecido de poliéster (espesura=3mm, largura 1,0m)	7.264,08	76,70	557.154,94
Geotextil não tecidoagul. de filamentos contínuos 100% poliester	229,39	76,70	17.594,37
Manta de retenção de nutrientes 5mm - 100% poliester	1.146,96	76,70	87.971,83
Argila expandida	25.806,60	7,20	185.807,52
Substrato	152.928,00	3,20	489.751,92
EE total			1.462.920,26

FONTE: Uhmman (2016).

TABELA 6: Cálculo da Emissão de CO₂ total do Caso A com utilização de telhado verde vernacular.

	Massa (kg)	CO ₂ material (Kg/Kg)	CO ₂ total (Kg)
Tinta betuminosa primer	894,63	5,91	5.287,26
Manta asfáltica polimérica estruturada não tecido de poliéster (espesura=3mm, largura 1,0m)	7.264,08	1,60	11.622,53
Geotextil não tecidoagul. de filamentos contínuos 100% poliester	229,39	1,60	367,03
Manta de retenção de nutrientes 5mm - 100% poliester	1.146,96	1,60	1.835,14
Argila expandida	25.806,60	0,52	13.419,43
Substrato	152.928,00	0,179	27.366,47
CO₂ total			59.897,85

FONTE: Uhmman (2016).

4.2.2 Caso B: Readequação da cobertura do Colégio Estadual Getúlio Vargas através da técnica de telhados verdes extensivos

Seguindo a mesma metodologia utilizada para o Caso A, os valores referentes à EE e emissão de CO₂ foram determinados nas Tabelas 7 e 8.

Considerando a área total construída da

edificação de 1.354,42 m² e um total de Energia Embutida de 675,71 GJ, obteve-se o valor de 498,89MJ/ m² de construção.

Considerando a área total de implantação da edificação de 1.354,42m² e um total de emissão de CO₂ de 27.666,25 Kg obteve-se o valor de 20,43 Kg de CO₂/m² de construção.

TABELA 7: Cálculo da Energia Embutida EE total do Caso B com utilização de telhado verde vernacular.

	Massa (kg)	EE material (MJ/Kg)	EE total (MJ)
Tinta betuminosa primer	413,22	139,32	57.569,89
Manta asfáltica polimérica estruturada não tecido de poliéster (espessura=3mm, largura 1,0m)	3.355,21	76,70	257.344,61
Geotextil não tecidoagul. de filamentos contínuos 100% poliester	105,95	76,70	8.126,67
Manta de retenção de nutrientes 5mm - 100% poliester	529,77	76,70	40.633,36
Argila expandida	11.919,83	7,20	85.822,74
Substrato	70.636,00	3,20	226.211,79
EE total			675.709,06

FONTE: Uhmman (2016).

TABELA 8: Cálculo da Emissão de CO₂ total do Caso B com utilização de telhado verde vernacular.

	Massa (kg)	CO ₂ material (Kg/Kg)	CO ₂ total (Kg)
Tinta betuminosa primer	413,22	5,91	2.442,13
Manta asfáltica polimérica estruturada não tecido de poliéster (espessura=3mm, largura 1,0m)	3.355,21	1,60	5.368,34
Geotextil não tecidoagul. de filamentos contínuos 100% poliester	105,95	1,60	169,53
Manta de retenção de nutrientes 5mm - 100% poliester	529,77	1,60	847,63
Argila expandida	11.919,83	0,52	6.198,31
Substrato	70.636,00	0,179	12.640,31
CO₂ total			27.666,25

FONTE: Uhmman (2016).

5. RESULTADOS

5.1 ANÁLISE COMPARTIVA DA ENERGIA EMBUTIDA EE: COBERTURAS ORIGINAIS X TELHADOS VERDES EXTENSIVOS

Para o Caso A, os valores encontrados são de 1,05 GJ/m² para a cobertura original e 0,76 GJ/m² para a cobertura readequada utilizando a técnica de telhado verde, representando uma diferença de 0,29 GJ/m² por área edificada, o que significa uma redução de 27,44% na energia embutida. Para o Caso B), os valores encontrados são de 1,62 GJ/m² para a cobertura original e 0,49 GJ/m² para a cobertura readequada utilizando a técnica de telhado verde, representando uma diferença de 1,12 GJ/m² por área edificada, o que significa uma redução de 69,26% na Energia Embutida (Figura 2).

Os números apresentados demonstram que para a cobertura original, o Caso A apresenta uma EE 35,02% menor em relação ao Caso B. A estrutura metálica utilizada na cobertura do projeto padrão 023, presente no caso B estudado, tem uma EE gerada de 853,48 MJ/m² superior ao projeto padrão 025 (Caso A), que utiliza como estrutura da cobertura madeira de cambará ou pinus. Porém, após readequação por telhados verdes, o Caso B passa a apresentar uma EE 34,81% menor em relação ao caso A, visto que o projeto 023 (Caso B), por possuir 02 pavimentos na maior parte de sua implantação, abrange uma maior área edificada com menor área de telhado.

5.2 ANÁLISE COMPARATIVA DA EMISSÃO DE CO₂: COBERTURAS ORIGINAIS X TELHADOS VERDES EXTENSIVOS

Para o Caso A, os valores encontrados são de 78,25 Kg/m² para a cobertura original e 31,33 Kg/m² para a cobertura readequada utilizando a técnica de telhado verde, representando uma diferença de 46,92 Kg/m² por área edificada, o que significa uma redução de 59,96% na emissão de CO₂. Para o Caso B, os valores encontrados são de 121,50 Kg/m² para a cobertura original e 20,43 Kg/m² para a cobertura readequada utilizando a técnica de telhado verde, representando uma diferença de 101,07 Kg/m² por área edificada, o que significa uma redução de 83,19% na emissão de CO₂ (Figura 3).

Os números apresentados quando comparados entre os colégios, demonstram que para a cobertura original, o Caso A apresenta uma emissão de CO₂ 35,59% menor em relação ao Colégio Caso B. A estrutura metálica utilizada na cobertura do projeto padrão 023, presente no caso B estudado, tem uma emissão de CO₂ de 64,47 Kg/m² superior ao Caso A, que utiliza como estrutura da cobertura madeira de cambará ou pinus. Porém, após readequação por telhados verdes, o Caso B passa a apresentar uma emissão de CO₂ 53,42% menor em relação ao caso A, visto que o projeto 023 (Caso B), por possuir 02 pavimentos na maior parte de sua implantação, abrange uma maior área edificada com menor área de telhado.

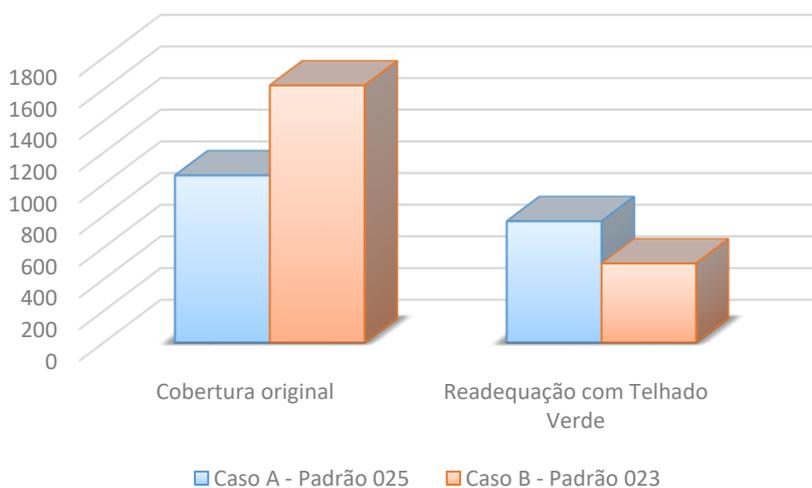


FIGURA 2: Comparativo entre Caso A e Caso B quanto a energia embutida EE.

FONTE: UHMANN (2016).

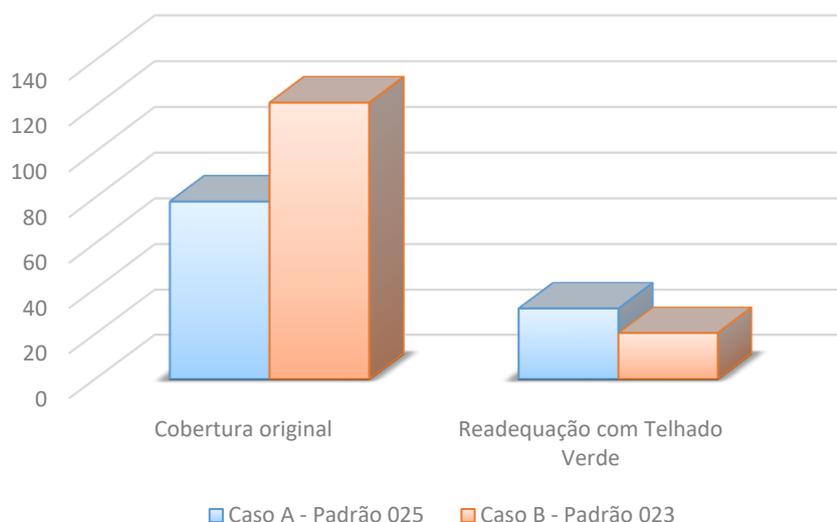


FIGURA 3: Comparativo entre Caso A e Caso B quanto a emissão de CO₂.

FONTE: UHMANN (2016).

6. CONCLUSÕES

A compreensão do conceito de sustentabilidade aplicada a projetos escolares não se restringe apenas ao meio construído, mas também às ações correlatas aplicadas juntamente com a comunidade escolar e o entorno adjacente com políticas sociais através da participação ativa dos agentes envolvidos no processo, materializado através de uma edificação educacional sustentável.

Esta pesquisa busca contribuir na readequação de edificações escolares já executadas e onde critérios de sustentabilidade não foram considerados quando em sua concepção original.

A adoção de vegetação nas superfícies construídas apresenta-se como solução viável no aumento da proporção de áreas verdes nos centros urbanos. Além disso, estudos previamente publicados por Tavares e Savi (2013), já concluíram a viabilidade técnica da implementação de telhados verdes extensivos em edificações executadas e não previamente projetadas para este fim, comprovando que o peso do telhado verde extensivo sobre laje equipara-se ao peso do sistema de laje com telha cerâmica. Desta forma torna-se viável na readequação de edificações já existentes, visto que a substituição dos telhados convencionais cerâmicos por sistemas de telhados verdes não afetam a estrutura da edificação.

Para tal, esta pesquisa comparou a

substituição dos telhados originais utilizados nos projetos padrões por telhados verdes extensivos cujos materiais componentes têm menor energia embutida EE e índices reduzidos de CO₂, analisando as possíveis contribuições desta substituição.

Em relação à energia embutida EE, o Caso A, demonstrou uma redução de 27,44% quando readequado por telhados verdes extensivos, enquanto o Caso B apresentou redução de 69,26%.

Quanto às emissões de CO₂, o Caso A demonstrou uma redução de 59,96% quando readequado por telhados verdes extensivos, enquanto o Caso B apresentou redução de 83,19%.

Quando os Casos A e B são comparados entre si, verifica-se que para a cobertura original, o caso A apresenta uma energia embutida EE 35,02% menor em relação ao caso B.

Quanto à emissão de CO₂, o comparativo entre os padrões demonstrou que em relação à cobertura original, o Caso A apresenta uma redução de 35,59% se comparado ao Caso B.

Após simulação de readequação com telhados verdes extensivos, o Caso B passou a apresentar uma energia EE 34,81% menor em relação Caso A.

Em relação às emissões de CO₂, o caso B demonstrou uma redução de 53,42% quando comparado ao Caso A.

Os dados resultantes destas comparações apontam para a viabilidade na implementação da

readequação por telhados verdes extensivos, utilizando-se de uma técnica mais sustentável. Sendo esta técnica implementada sob o prisma da edificação escolar, além da qualidade do espaço educacional originalmente concebido sem considerar aspectos relativos à sustentabilidade, tem a oportunidade de, a partir do estudo desenvolvido, propiciar um incremento na qualidade desses espaços já edificados e propor ideias e diretrizes para novos projetos, sejam eles específicos ou padronizados, fomentando a eco educação da comunidade escolar, possibilitando vivenciar essa prática no próprio espaço de convívio diário de alunos, pais e professores, gerando um modelo a ser multiplicado, incentivando as práticas de conservação, respeito ao bem edificado e integração à natureza.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BIANCHINI, F. ; HEWAGE, K. **How green are the greenroofs – Lifecycle analysis of green roof materials.** *School os Civil Engineering, University of British Columbia.* Canadá.2011.
- BUCHANAN, A.; HONEY, B. **Energy tind Carbon Dioxide Implications of Building Construction.** *Energy and Buildings* 20:205-217. 1994.
- GRAF, H. F.; TAVARES, S. F. **Energia incorporada dos materiais de uma edificação Padrão Brasileira Residencial.** In: 1º CONGRESSO DE INOVAÇÃO, TECNOLOGIA E SUSTANTABILIDADE, 2010. UNIFEBE, Brusque/SC.
- HAMMOND, G; JONES, C. **Inventory of carbon & energy (ICE).** *University of Bath.* UK. 2008.
- KOWALTOWSKI, D.C.C.K. **Arquitetura escolar – o projeto do ambiente de ensino.** Ed. 1. São Paulo: Oficina de textos, 2011.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Manual escolas sustentáveis.** Resolução CD/FNDE nº 18, de 03 de setembro de 2014. Disponível em: https://www.fnde.gov.br/fndelegis/action/UrlPublicasAction.php?acao=abrirAtoPublico&sgl_tipo=RES&num_ato=00000018&seq_ato=000&vlr_ano=2014&sgl_orgao=C/D/FNDE/MEC. Acesso em: 24 de junho de 2015.
- MACEDO, A.; MATEUS, R. **Avaliação do desempenho ambiental de soluções de reabilitação de fachadas.** Universidade do Minho. Portugal. 2011.
- MINKE, G. **Trechos verdes – Planificación, ejecución, consejos prácticos.** *Editorial Fin de Siglo.* Uruguai. 2005.
- PARANÁ. Secretaria de Estado da Educação. Diretoria de Projetos, orçamentos e obras (DEPO). 2013.
- PECK, S.W.; CALLAGHAN, C.; KUHN, M.E.;BASS, B. **Status report on benefits, barriers and opportunities for green roof and vertical garden technology diffusion.** Canada mortgage and housing Corporation. Canadá. 1999.
- SANQUETTA, C.R.; FLIZIKOWSKI L.C.; CORTE A.P.D.; MOGNON F.; MAAS, G.C.B. **Estimativa das emissões de gases de efeito estufa em uma obra de construção civil com a metodologia ghg protocol.** *Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.9, N.16; p.1088-1016.* 2013.
- SAVI, A.C.; TAVARES, S.F. **Telhados verdes: Análise comparativa de custo e peso com sistemas tradicionais de cobertura.** ENCAC, ELACAC. Brasília. 2013.
- 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.
- TAVARES, F. S. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras.** Tese de doutorado. Florianópolis: UFSC, PPGEC, 2006.
- UHMANN, I.M.S. **Readequação de coberturas através da técnica de telhados verdes: estudo de caso nas escolas públicas do estado do Paraná.** Dissertação de mestrado. Curitiba: UFPR, PPGECC, 2016.