

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**

**ISAURA MARQUES DE SOUZA UHMANN**

**READEQUAÇÃO DE COBERTURAS ATRAVÉS DA TÉCNICA DE  
TELHADOS VERDES: ESTUDO DE CASO NAS ESCOLAS  
PÚBLICAS DO ESTADO DO PARANÁ**

**CURITIBA**

**2016**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ISAURA MARQUES DE SOUZA UHMANN

**READEQUAÇÃO DE COBERTURAS ATRAVÉS DA TÉCNICA DE  
TELHADOS VERDES: ESTUDO DE CASO NAS ESCOLAS  
PÚBLICAS DO ESTADO DO PARANÁ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Construção Civil como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre. Área de concentração: Ambiente construído, setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Fernando Tavares

CURITIBA

2016

---

U31r

Uhmman, Isaura Marques de Souza

Readequação de coberturas através da técnica de telhados verdes :  
estudo de caso nas escolas públicas do Paraná/ Isaura Marques de Souza  
Uhmman. – Curitiba, 2016.

124 f. : il. color. ; 30 cm.

Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia,  
Programa de Pós-graduação em Engenharia da Construção Civil, 2016.

Orientador: Sérgio Fernando Tavares .

Bibliografia: p. 116-121.

1. Escolas públicas - Arquitetura. 2. Telhados - Aspectos ambientais. 3.  
Energia - Consumo. 4. Dióxido de carbono - Aspectos ambientais. I.  
Universidade Federal do Paraná. II.Tavares, Sérgio Fernando. III. Título.

CDD: 635.9671

---

## TERMO DE APROVAÇÃO

ISAURA MARQUES DE SOUZA UHMANN

### READEQUAÇÃO DE COBERTURAS ATRAVÉS DA TÉCNICA DE TELHADOS VERDES: ESTUDO DE CASO NAS ESCOLAS PÚBLICAS DO ESTADO DO PARANÁ.

Dissertação aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-graduação em Engenharia de Construção Civil, Área de concentração: Ambiente Construído e Gestão, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

Orientador:



Prof. Dr. Sérgio Fernando Tavares

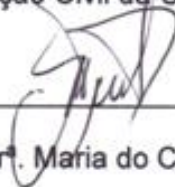
Programa de Pós-graduação em Engenharia de Construção Civil da UFPR.

Examinadores:



Prof. Dr. George Stanescu

Programa de Pós graduação em Engenharia de Construção Civil da UFPR.



Prof.ª Dr.ª Maria do Carmo Duarte Freitas

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da UFPR.

Curitiba, 22 de abril de 2015.

## AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Dr. Sergio Fernando Tavares pela confiança em mim depositada durante o agradável período deste trabalho.

A Prof.<sup>a</sup>. Dar. Maria do Carmo pelo carinho, pelos ensinamentos, conselhos e oportunidades junto ao GPCIT.

A todos os professores do PPGECC que ao ministrarem suas aulas transmitiram seus conhecimentos essenciais à elaboração deste trabalho e inspiraram a discussão de temas relevantes rumo a transformação da sociedade.

Ao companheirismo dos colegas de mestrado, especialmente àqueles da linha de Ambiente Construído, onde compartilhamos ideias, pesquisas, conversas, amizade e apoio.

À querida Ziza Regina Nichele por nos atender com tanta dedicação e carinho.

E em especial a minha família, Jackson por estar presente em todos os momentos, dando apoio e suporte incondicional e aos meus filhos Víctor e Júlia, fontes de inspiração da minha vida, pela compreensão nos meus momentos de ausência e carinho durante o tempo de dedicação ao mestrado.

*Educação transforma pessoas. Pessoas transformam o mundo.*

*(Paulo Freire)*

# RESUMO

Em um contexto aonde a arquitetura vem discutindo seu papel na busca por um mundo mais sustentável destaca-se a presença dos aspectos relativos à sustentabilidade no edifício escolar. Essa tipologia arquitetônica deve se constituir em uma referência de arquitetura, funcionando como agente disseminador dos conceitos essenciais à obtenção de uma arquitetura de qualidade, para a qual os parâmetros da sustentabilidade são fundamentais. Esta pesquisa compara a substituição dos telhados originais utilizados nos projetos padrões do estado do Paraná, por telhados verdes extensivos cujos materiais componentes têm menor energia embutida EE e índices reduzidos de CO<sub>2</sub>. O custo ambiental da demolição e o gasto energético de novos materiais já são razões substanciais para considerar a readequação das edificações. Justifica-se ainda, a aplicação em instituições públicas onde se busca racionalizar os recursos disponíveis para obras de reparos, manutenção e melhorias. A pesquisa tem natureza exploratória com aplicação em estudo de caso. As comparações realizadas nesta pesquisa apontam para a viabilidade na implementação da readequação por telhados verdes extensivos, uma vez que refletiram resultados favoráveis com redução significativa da energia embutida e emissão de CO<sub>2</sub>. O estudo desenvolvido propõe ideias e diretrizes para os projetos de readequação, 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.

Palavras chave: arquitetura escolar, telhados verdes, energia embutida, emissão de CO<sub>2</sub>.

## **ABSTRACT**

*In a context where the architecture has been discussing its role in the search for a more sustainable world, there is the presence of sustainability aspects in the school building. This architectural typology should constitute a reference architecture, functioning as disseminating agent of the key concepts to obtain a quality architecture, for which the parameters of sustainability are key. This research simulates the replacement of original roofs used in standards of Paraná state for extensive green roof projects whose material components have lower embodied energy EE and reduced levels of CO<sub>2</sub>. The environmental cost of demolition and energy expenditure of new materials are already substantial reasons to believe that retrofitting of buildings. It is also justified the application in public institutions which seek to rationalize the resources available for repair works, maintenance and improvements. The research has an exploratory nature with application in a case study. The simulations in this research point to the feasibility for implementation of readjustment for extensive green roofs, as reflected favorable results with significant reduction in embodied energy and CO<sub>2</sub> emissions. The study developed provides greater quality to the built environment and proposes ideas and guidelines for new projects, whether specific or standardized, fostering the ecological education at school community, enabling experience this practice in the daily living space of students, parents and teachers, generating a model to be multiplied by encouraging conservation practices, respect for the construction and integration with nature.*

*Keywords: school architecture , green roofs , embodied energy , CO<sub>2</sub> emissions.*



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Fatores determinados pela qualidade dos materiais e projeto. ....	30
Quadro 2 - Características do desenvolvimento sustentável na construção civil. ...	47
Quadro 3 - Consumo de materiais e Energia no setor da construção civil. ....	49
Quadro 4 - Estudo da variação térmica em diferentes tipos de telhados. ....	63
Quadro 5 - Quadro comparativo entre tipos de telhados verdes. ....	74
Quadro 6 - Quantitativo dos materiais da cobertura original do Colégio Estadual Aníbal Khury (padrão 025). ....	95
Quadro 7 - Determinação das densidades para cálculo das tintas utilizadas na cobertura do Colégio Estadual Aníbal Khury (padrão 025). ....	97
Quadro 8 - Determinação das massas dos componentes da cobertura do Colégio Estadual Aníbal Khury (padrão 025). ....	99
Quadro 9 - Quantitativo dos materiais da cobertura original do Colégio Estadual Getúlio Vargas (padrão 023). ....	105
Quadro 10 - Determinação das massas dos componentes da cobertura do Colégio Estadual Getúlio Vargas (padrão 023). ....	106
Quadro 11 - Materiais empregados na impermeabilização do telhado verde conforme TCPO (2013). ....	108

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Cobertura de escola estadual no município de União da Vitória.....	31
Figura 2 - Projeto padrão 025. Vista lateral do acesso principal (à esquerda) e vista bloco salas de aula (à direita).....	42
Figura 3 - Projeto padrão 025. Vista circulação entre blocos (à esquerda) e vista circulação central.....	43
Figura 4 - Projeto padrão 023. Vista bloco salas de aula (à esquerda) e vista refeitório e bloco administrativo (à direita). ....	43
Figura 5 - Projeto padrão 023. Vista circulação central entre módulos. ....	44
Figura 6 - Telhados vegetados em Hannover (à esquerda) e em Berlim (à direita). .....	54
Figura 7 - Camadas do telhado verde. ....	55
Figura 8 – Tipos de telhados verdes.....	56
Figura 9 - Cobertura verde extensiva - Corte longitudinal. ....	58
Figura 10 - Cobertura verde semi-intensiva - Corte longitudinal.....	59
Figura 11 - Telhado verde semi-intensivo.....	59
Figura 12 - Cobertura verde extensiva - Corte longitudinal. ....	60
Figura 13 - Telhado verde extensivo (à esquerda) e telhado verde intensivo (à esquerda).....	61
Figura 14 - Graded School em São Paulo. ....	67
Figura 15 - Graded School em São Paulo. ....	68
Figura 16 - Colégio Estadual Erich Walter Heine localizado no Rio de Janeiro. ....	68
Figura 17 – Telhados verdes do Colégio Estadual Erich Walter Heine. ....	69
Figura 18 – Planta de Cobertura do Colégio Estadual Aníbal Khury - Projeto padrão 025. ....	77
Figura 19 – Planta de Cobertura do Colégio Estadual Getúlio Vargas - Projeto padrão 023.....	77
Figura 20 – Caso A telhado original X Caso A telhado verde (Projeto padrão 025). .....	84
Figura 21 – Caso B telhado original X Caso B telhado verde (Projeto padrão 023). .....	85

Figura 22 – Caso A telhado original (Projeto padrão 025) X Caso B telhado original (Projeto padrão 023). .....	85
Figura 23 – Caso A telhado verde (Projeto padrão 025) X Caso B telhado verde (Projeto padrão 023). .....	86
Figura 24 - Localização Colégio Estadual Aníbal Khury, município de Curitiba. ....	92
Figura 25 – Implantação arquitetônica do Colégio Estadual Aníbal Khury - Projeto padrão 025. ....	94
Figura 26 – Localização do Colégio Estadual Getúlio Vargas, município de Curitiba. ....	103
Figura 27 – Implantação arquitetônica do Colégio Estadual Getúlio Vargas - Projeto padrão 023. ....	104

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Temperatura de um telhado verde (inverno) em Kassel (Alemanha). ..65	
Gráfico 2 - Análise comparativa de custos das coberturas.....71	71
Gráfico 3 - Análise comparativa da carga dos sistemas de cobertura.....72	72
Gráfico 4 - Análise comparativa entre custo e peso por m <sup>2</sup> .....73	73
Gráfico 5 - Caso A: Energia Embutida EE .....116	116
Gráfico 6 - Caso A: Emissões de CO <sub>2</sub> .....116	116
Gráfico 7 - Caso B: Energia Embutida EE .....117	117
Gráfico 8 - Caso B: Emissões de CO <sub>2</sub> .....118	118
Gráfico 9 - Caso A X Caso B: Energia Embutida EE .....119	119
Gráfico 10 - Caso A X Caso B: Emissões de CO <sub>2</sub> .....120	120
Gráfico 11 - Caso A X Caso B: Energia Embutida EE Telhados Verdes.....121	121
Gráfico 12 - Caso A X Caso B: Emissões de CO <sub>2</sub> Telhados Verdes.....122	122

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Sistemas de telhado e levantamento de custos/m <sup>2</sup> .....	70
Tabela 2 - Peso sistemas de cobertura. ....	73
Tabela 3 - Determinação das massas das madeiras utilizadas na cobertura do Colégio Estadual Aníbal Khury (padrão 025).....	96
Tabela 4 - Determinação das massas das tintas utilizadas na cobertura do Colégio Estadual Aníbal Khury (padrão 025).....	97
Tabela 5 - Determinação das massas das cerâmicas utilizadas na cobertura do Colégio Estadual Aníbal Khury (padrão 025).....	98
Tabela 6 - Determinação das massas dos metais utilizados na cobertura do Colégio Estadual Aníbal Khury (padrão 025).....	98
Tabela 7 - Cálculo da Energia Embutida EE total envolvida na execução do Colégio Estadual Aníbal Khury (padrão 025).....	100
Tabela 8 - Cálculo do CO <sub>2</sub> total envolvido na execução do Colégio Estadual Aníbal Khury (padrão 025). ....	101
Tabela 9 - Cálculo da Energia Embutida EE total envolvida na execução do Colégio Estadual Getúlio Vargas (padrão 023). ....	106
Tabela 10 - Cálculo do CO <sub>2</sub> total envolvido na execução do Colégio Estadual Getúlio Vargas (padrão 023).....	107
Tabela 11- Cálculo de EE e CO <sub>2</sub> referente ao substrato (por Kg). ....	109
Tabela 12 - Cálculo das massas dos componentes do telhado verde vernacular do Colégio Estadual Aníbal Khury. ....	110
Tabela 13 – Cálculo da Energia Embutida EE do Colégio Estadual Aníbal Khury com utilização de telhado verde vernacular.....	111
Tabela 14 – Emissão de CO <sub>2</sub> do Colégio Estadual Aníbal Khury com utilização de telhado verde vernacular. ....	112
Tabela 15 - Cálculo das massas dos componentes do telhado verde vernacular do Colégio Estadual Getúlio Vargas. ....	112
Tabela 16 – Cálculo da Energia Embutida EE do Colégio Estadual Getúlio Vargas com utilização de telhado verde vernacular.....	113
Tabela 17 – Emissão de CO <sub>2</sub> do Colégio Estadual Getúlio Vargas com utilização de telhado verde vernacular. ....	114

Tabela 18 - Caso A: Energia Embutida EE e emissões de CO <sub>2</sub> .....	115
Tabela 19 - Caso B: Energia Embutida EE e emissões de CO <sub>2</sub> .....	117
Tabela 20 - Energia Embutida coberturas originais Caso A e Caso B .....	118
Tabela 21- Emissões de CO <sub>2</sub> coberturas originais Caso A e Caso B.....	119
Tabela 22- Energia Embutida das coberturas readequadas por telhados verdes: Caso A e Caso B .....	121
Tabela 23- Emissões de CO <sub>2</sub> das coberturas readequadas por telhados verdes: Caso A e Caso B .....	121

## LISTA DE APÊNDICE

Apêndice 1 - Densidades, Energia Embutida e CO <sub>2</sub> dos componentes da cobertura original do projeto padrão 025 e 023. ....	132
Apêndice 2 - Determinação das massas das madeiras utilizadas na cobertura do Colégio Estadual Getúlio Vargas (padrão 023). ....	132
Apêndice 3 - Determinação das massas das tintas utilizadas na cobertura do Colégio Estadual Getúlio Vargas (padrão 023). ....	132
Apêndice 4 - Determinação das massas das cerâmicas utilizadas na cobertura do Colégio Estadual Getúlio Vargas (padrão 023). ....	133
Apêndice 5 - Determinação das massas dos metais utilizados na cobertura do Colégio Estadual Getúlio Vargas (padrão 023). ....	133
Apêndice 6 - Densidades, Energia Embutida e CO <sub>2</sub> dos componentes do telhado verde. ....	133
Apêndice 7 - Densidades, Energia Embutida e CO <sub>2</sub> dos componentes do telhado verde. ....	133
Apêndice 8 - Quantitativo do telhado verde vernacular para readequação do Colégio Estadual Aníbal Khury (projeto padrão 025).....	133
Apêndice 9 - Quantitativo do telhado verde vernacular para readequação do Colégio Estadual Getúlio Vargas (projeto padrão 023 - SUDE). ....	134
Apêndice 10 – Comparativo EE/m <sup>2</sup> entre Caso A e B .....	134
Apêndice 11 – Comparativo CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> entre Caso A e B .....	134

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APMF	Associação de Pais, Mestres e Funcionários
CER	Coordenadoria de Reparos
COP	Coordenadoria de Projetos
DEPO	Diretoria de Projetos, Obras e Orçamentos
EE	Energia embutida
FDE	Fundação de Desenvolvimento da Educação
FNDE	Fundação Nacional de Desenvolvimento Educacional
IGRA	International Green Roof Association
IN	Instrução Normativa
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normatização e Qualidade Industrial
MEC	Ministério da Educação e Cultura
MP	Ministério Público
NBR	Norma Brasileira
ONU	Organização das Nações Unidas
PPGECC	Programa de Pós-graduação em Engenharia da Construção Civil
SUDE	Superintendência de Desenvolvimento Educacional
SECADI	Secretaria de Educação Continuada, Alfabetização, Diversidade e Inclusão
SEED	Secretaria de Estado da Educação
SLTI	Secretaria de Logística e Tecnologia da Informação
TV	Telhado Verde
UFPR	Universidade Federal do Paraná



# SUMÁRIO

<b>RESUMO .....</b>	<b>7</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>8</b>
<b>CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO .....</b>	<b>21</b>
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA .....	23
1.2 PRESSUPOSTO .....	23
1.3 OBJETIVO.....	24
1.4 CONTEXTUALIZAÇÃO NO PROGRAMA.....	24
1.5 JUSTIFICATIVAS .....	25
1.5.1 Justificativa ambiental .....	25
1.5.2 Justificativa social .....	26
1.5.3 Justificativa econômica .....	27
1.5.4 Justificativa tecnológica .....	29
1.5.5 Estruturação do trabalho.....	31
<b>CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>33</b>
2.1 CONTEXTO HISTÓRICO DA EDIFICAÇÃO ESCOLAR .....	33
2.2 ARQUITETURA ESCOLAR.....	35
2.3 ASPECTOS LEGAIS NA ARQUITETURA ESCOLAR PÚBLICA SUSTENTÁVEL.....	37
2.4 A PADRONIZAÇÃO DOS PROJETOS .....	39
2.4.1 Projetos padrões do estado do Paraná.....	41
2.4.2 Projeto padrão 025.....	42
2.4.3 Projeto padrão 023.....	43
2.5 A REQUALIFICAÇÃO DE EDIFICAÇÕES .....	44
2.6 O CONCEITO DE SUSTENTABILIDADE APLICADO ÀS EDIFICAÇÕES ...	45
2.6.1 Energia incorporada.....	48

2.6.2	Ciclo de vida dos materiais .....	50
2.6.3	Emissão de gases de efeito estufa – CO <sub>2</sub> .....	50
2.6.4	Energia de desconstrução e potencial de reciclagem.....	51
2.7	TELHADOS VERDES – CONTEXTO HISTÓRICO .....	52
2.8	TELHADOS VERDES – CONTEXTO INÍCIO SÉCULO XXI .....	53
2.9	TELHADOS VERDES – TIPOS E CARACTERÍSTICAS .....	54
2.9.1	Telhados verdes extensivos.....	56
2.9.2	Telhados verdes semi-intensivos.....	58
2.9.3	Telhados verdes intensivos.....	59
2.10	TELHADOS VERDES – BENEFÍCIOS.....	61
2.10.1	Isolamento térmico.....	62
2.10.2	Evapotranspiração .....	65
2.10.3	Consumo de dióxido de carbono .....	66
2.10.4	Impermeabilização .....	66
2.11	TELHADOS VERDES – CASOS EXISTENTES .....	67
2.12	ESTADO DA ARTE .....	69
2.12.1	Comparativo de peso X custos de sistemas de Telhados verdes .....	70
2.12.2	Telhados verdes segundo IGRA.....	74
2.13	CONSIDERAÇÕES ACERCA DO REFERENCIAL TEÓRICO .....	75
<b>CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA .....</b>		<b>76</b>
3.1	DEFINIÇÃO DA ESTRATÉGIA DA PESQUISA.....	76
3.1.1	Unidade de análise .....	76
3.1.2	Delimitação do trabalho .....	78
3.1.3	Justificativa da estratégia de pesquisa .....	79
3.2	PROTOCOLO DE COLETA DOS DADOS .....	80
3.2.1	Pesquisa exploratória.....	80
3.2.2	Levantamento de dados.....	80

3.2.3 Estudo de Caso.....	81
3.3 MÉTODO DE ANÁLISE DOS DADOS.....	84
3.4 TESTE DE VALIDADE.....	86
3.4.1 Validade do constructo.....	87
3.4.2 Validade interna.....	87
3.4.3 Validade externa.....	88
3.4.4 Confiabilidade.....	88
<b>CAPÍTULO 4 – ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>90</b>
4.1 ESTUDO DAS COBERTURAS ORIGINAIS DO CASO A – COLÉGIO ESTADUAL ANÍBAL KHURY (PROJETO PADRÃO 025).....	92
4.1.1 Caracterização dos elementos da cobertura original - Caso A.....	95
4.1.2 Determinação dos valores de Energia Embutida EE na cobertura original - Caso A.....	99
4.1.3 Determinação dos valores de CO <sub>2</sub> na cobertura original - Caso A.....	101
4.2 ESTUDO DAS COBERTURAS ORIGINAIS DO CASO B – COLÉGIO ESTADUAL GETÚLIO VARGAS (PROJETO PADRÃO 023).....	102
4.2.1 Caracterização dos elementos da cobertura original - Caso B.....	104
4.2.2 Determinação dos valores de Energia Embutida EE na cobertura original - Caso B.....	105
4.2.3 Determinação dos valores de CO <sub>2</sub> na cobertura original - Caso B.....	107
4.3 ESTUDO DAS COBERTURAS READEQUADAS COM A TÉCNICA DE TELHADOS VERDES EXTENSIVOS .....	108
4.3.1 Caracterização dos elementos do telhado verde do Colégio Estadual Aníbal Khury - Caso A.....	110
4.3.1.1 Determinação dos valores de Energia Embutida EE para o telhado verde - Caso A.....	110
4.3.1.2 Determinação dos valores de CO <sub>2</sub> para o telhado verde - Caso A....	111
4.3.2 Caracterização dos elementos do telhado verde do Colégio Estadual Getúlio Vargas - Caso B.....	112

4.3.2.1 Determinação dos valores de Energia Embutida EE para o telhado verde - Caso B .....	113
4.3.2.2 Determinação dos valores de CO <sub>2</sub> para o telhado verde - Caso B....	113
<b>CAPÍTULO 5 – ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>115</b>
5.1 COMPARATIVO 1: CASO A COBERTURA ORIGINAL X CASO A TELHADO VERDE EXTENSIVO: ENERGIA EMBUTIDA EE E ÍNDICES DE EMISSÃO DE CO <sub>2</sub> .....	115
5.2 COMPARATIVO 2: CASO B COBERTURA ORIGINAL X CASO B TELHADO VERDE EXTENSIVO: ENERGIA EMBUTIDA EE E ÍNDICES DE EMISSÃO DE CO <sub>2</sub> .....	117
5.3 COMPARATIVO 3: CASO A COBERTURA ORIGINAL X CASO B COBERTURA ORIGINAL: ENERGIA EMBUTIDA EE E ÍNDICES DE EMISSÃO DE CO <sub>2</sub> .....	118
5.4 COMPARATIVO 4: CASO A TELHADO VERDE EXTENSIVO X CASO B TELHADO VERDE EXTENSIVO: ENERGIA EMBUTIDA EE, ÍNDICES DE EMISSÃO DE CO <sub>2</sub> .....	120
<b>CAPÍTULO 6 – CONCLUSÃO .....</b>	<b>123</b>
6.1 TRABALHOS FUTUROS .....	125
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>126</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>132</b>

## CAPÍTULO 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).

Em um contexto no qual a arquitetura vem discutindo seu papel na busca por um mundo mais sustentável destaca-se a presença dos aspectos relativos à sustentabilidade no edifício escolar. Essa tipologia arquitetônica deve se constituir em uma referência de arquitetura, funcionando como agente disseminador dos conceitos considerados essenciais à obtenção de um projeto de qualidade, para o qual os parâmetros de sustentabilidade são fundamentais.

No âmbito da construção civil, os termos sustentabilidade, adequação ambiental e eficiência energética se inter-relacionam, de modo que as edificações podem ser utilizadas como instrumento para a disseminação de tais conceitos (LAMBERTS *et al*, 2010).

A incorporação de vegetação nas superfícies construídas apresenta-se oportuna no processo de requalificação ambiental das cidades, possibilitando o aumento da proporção de áreas verdes nos centros urbanos, devido à escassez de espaços livres e aos processos de especulação imobiliária. Dentro desse contexto, os telhados verdes apresentam-se como sistemas de coberturas constituídos por camadas especiais que proporcionam a sobrevivência e integridade física de uma massa de vegetação sobre a superfície superior da edificação (LAMBERTS *et al*, 2010).

Busca-se contribuir de forma significativa com estudos sobre o espaço físico escolar dos colégios públicos do Estado do Paraná. Esta pesquisa propõe a readequação das coberturas originais das edificações substituindo-as por coberturas verdes. Os estudos em questão objetivam comparar as contribuições que telhados verdes extensivos podem proporcionar, melhorando

critérios de desempenho ambiental por meio da análise dos índices de energia embutida EE e emissão de CO<sub>2</sub>.

A cobertura verde é conceituada como o recobrimento das edificações com vegetações horizontais, verticais ou inclinadas com o uso de plantas adaptadas às condições locais (UGALDE, 2004).

A readequação de edificações remete a conceitos de conservação e respeito ao bem edificado e já incorporado à paisagem urbana e à comunidade. Ao considerar a natureza educacional da obra, a adoção de técnicas e materiais mais sustentáveis além de gerar um benefício direto ao edifício, fomenta a replicação de práticas entre a comunidade a qual está inserida, educando pelo bom exemplo e convivência em um ambiente concebido ou adaptado alinhado às diretrizes de sustentabilidade.

## 1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Para Gil (2010), por vincular-se estreitamente ao processo criativo, a formulação de problemas não se faz mediante a observação de procedimentos rígidos e sistemáticos. Existem condições que facilitam essa tarefa, tais como: imersão sistemática no objeto, estudo da literatura existente e discussão com pessoas que acumulam muita experiência prática no campo de estudo.

O objeto edifício escolar traz consigo características específicas por sua natureza institucional e núcleo disseminador do conhecimento. O prédio de uma escola é a concretização de uma visão da educação e de seu papel na construção da sociedade (KOWALTOWSKI, 2011). O Estado do Paraná, bem como a maioria dos estados brasileiros, adota a utilização de projetos padrões<sup>1</sup> em suas configurações.

Partindo deste cenário e considerando os projetos padrões vigentes adotados na concepção de espaços escolares no estado do Paraná, esta pesquisa pretende responder a seguinte indagação: quais as contribuições que telhados verdes extensivos podem dar para melhorar critérios de desempenho ambiental pela análise da emissão de CO<sub>2</sub> e energia embutida?

## 1.2 PRESSUPOSTO

A implantação dos projetos padrões considera características específicas de cada região como clima, relevo e topografia. A pesquisa conjectura que a readequação dos telhados originais em substituição por telhados verdes extensivos poderá proporcionar coberturas mais sustentáveis,

---

<sup>1</sup> Projeto composto por módulos pré-determinados que são customizados conforme terreno disponibilizado para a implantação arquitetônica.

que utilizem materiais de menor energia embutida EE e índices reduzidos de CO<sub>2</sub>, melhorando as condições físicas das edificações.

### 1.3 OBJETIVO

Esta pesquisa compara 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 CO<sub>2</sub>.

### 1.4 CONTEXTUALIZAÇÃO NO PROGRAMA

Esta pesquisa está inserida dentro do Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Construção Civil (PPGECC) da Universidade Federal do Paraná (UFPR), na área de concentração de Ambiente Construído. A linha de pesquisa abordada refere-se à readequação, arquitetura escolar, sustentabilidade e telhados verdes.

Trabalhos científicos do programa já abordaram questões relevantes à elaboração desta pesquisa, dentre os quais, cita-se a dissertação de Lobo (2010) – Inventário de emissão equivalente de dióxido de carbono e energia embutida na composição de serviços em obras públicas: estudo de caso no estado do Paraná – que fornece subsídios importantes no que tange ao levantamento da edificação escolar analisada, visto que a presente pesquisa objetiva estudar os fenômenos em uma edificação escolar pública.

Dentro da linha de pesquisa pretendida, cita-se também a tese de Tavares (2006) – Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras – que contribui com conhecimentos significativos acerca das questões energéticas dos materiais empregados na construção civil e norteou decisões importantes desta pesquisa.



Ressaltam-se os trabalhos de Kowaltowski (2012, 2011, 2010), da Universidade de Campinas, São Paulo, que estuda a temática edificação escolar.

A investigação pretende contribuir com a linha de sustentabilidade no ambiente construído, trazendo como proposta a utilização de telhados verdes na readequação e substituição de coberturas das escolas públicas no Paraná.

## 1.5 JUSTIFICATIVAS

### 1.5.1 Justificativa ambiental

Os desafios de sustentabilidade firmam-se cada vez mais como necessidades urbanas no decorrer da evolução do pensamento técnico-científico. As modificações na biosfera, a exemplo de fenômenos como as ilhas de calor urbano e de aumento da concentração dos gases do efeito estufa despertam a necessidade de se repensar imediatamente o ambiente urbano e as suas edificações (LAMBERTS *et al*, 2010).

A intenção em propor uma estratégia utilizando telhados verdes em edificações escolares converge a planos pedagógicos de ensino e práticas de ações mais sustentáveis, seja no exercício diário de cada ocupante ou na técnica de construção civil. Proporciona o alinhamento de planos de ensino e pesquisa de assuntos relacionados à sustentabilidade, programas de governo ligados à agricultura e merenda orgânica, bem como hortas comunitárias. Estes espaços podem ser vivenciados no próprio meio escolar, exemplificando e incentivando na experiência de um espaço escolar mais sustentável, técnicas que podem ser replicadas no espaço individual de cada aluno.

A tecnologia dos telhados verdes tem sido investigada e utilizada em cidades ao redor do mundo como estratégia bioclimática para o aumento da eficiência energética das edificações e do conforto térmico dos usuários. Além

da economia de energia, parte do interesse na tecnologia deve-se a outras vantagens socioambientais, como redução de enchentes urbanas e mitigação dos efeitos climáticos de ilhas de calor, problemas comuns a quase todas as áreas densamente ocupadas (LAMBERTS *et al*, 2010).

Por meio de procedimentos de conservação, reparos e renovação, a própria edificação retorna ao ciclo dos materiais, mitigando os impactos ambientais e implementando novas soluções mais sustentáveis.

A readequação dos edifícios condiz com o conceito de sustentabilidade. A energia incorporada deve ser considerada ao longo do ciclo de vida dos materiais, proporcionando maior longevidade às edificações. O custo ambiental da demolição e o gasto energético de novos materiais já podem ser razão para considerar a readequação das edificações. Macedo e Mateus (2011) apostam na reabilitação como uma boa atitude a adotar, visto que esta atividade evita os resíduos de demolição e aumenta o período de vida dos edifícios.

A Agenda 21 (2000) formula que a construção sustentável deve procurar aumentar a vida útil das edificações, por meio de iniciativas que objetivem flexibilidade, adaptabilidade ou reformas dos edifícios existentes. Desta forma, a utilização de telhados verdes oferece uma alternativa flexível e adaptável tanto a edificações já executadas como também para as novas concepções de projeto em arquitetura escolar.

### 1.5.2 Justificativa social

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 aspectos que vão além da sua materialidade. Assim, a discussão sobre a escola ideal não se restringe a um único aspecto, seja de ordem arquitetônica, pedagógica ou social: torna-se necessária uma abordagem multidisciplinar, que inclua o

aluno, o professor, a área de conhecimento, as teorias pedagógicas, a organização de grupos, o material de apoio e a escola como instituição e lugar (KOWALTOWSKI, 2011).

Kowaltowski (2011) comenta que a boa arquitetura, expressada pelos aspectos perceptivos do edifício – conceituais, formais, estéticos – é reconhecida pela representatividade e influência da escola no seu entorno próximo e na sua distinção pela coletividade. Ações de cuidado com o patrimônio e a instituição, representam manifestações de respeito e pertencimento manifestadas pela comunidade escolar.

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. Kowaltowski (2011) diz que esta tipologia arquitetônica nunca está desprovida de símbolos e reflexos do seu contexto cultural e deve existir como resposta à proposta pedagógica que a escola pretende adotar.

A escola, como patrimônio social e parte da sociedade, incorpora-se às mudanças locais, evoluindo junto ao meio ao qual esta inserida, fomentando o desenvolvimento da vizinhança dentro do conceito de sustentabilidade.

### 1.5.3 Justificativa econômica

Pela capacidade significativa de melhorar o isolamento térmico dos ambientes, os telhados verdes permitem uma contribuição no cenário energético brasileiro uma vez que de toda energia consumida no Brasil, 44,98% vão para as edificações residenciais, comerciais e públicas (BALDESSAR, 2012).

Compatibilizando a técnica de telhados verdes com a natureza da edificação escolar é possível captar recursos públicos para a execução de

melhorias que considerem materiais e técnicas mais sustentáveis e que estejam alinhados a projetos pedagógicos de educação ambiental. Pela resolução CD/FNDE nº 18, de 21 de maio de 2013, a assistência financeira a projetos de educação ambiental dá continuidade às ações desenvolvidas pela Secretaria de Educação Continuada, Alfabetização, Diversidade e Inclusão, do Ministério da Educação (SECADI/MEC), visando incentivar a institucionalização da educação ambiental e o seu enraizamento em todos os níveis e modalidades de ensino. Tem como objetivo apoiar a implementação de projetos de pesquisa e intervenção em escolas da educação básica com vistas à criação de espaços educadores sustentáveis, o que se aplica a readequação das coberturas com a utilização de telhados verdes.

A edificação escolar, no papel de instituição pública, é regida por leis constitucionais as quais devem ser observadas. Bonatto (2012) afirma que o princípio de Desenvolvimento Sustentável na doutrina e na jurisprudência é frequentemente ligado ao equilíbrio entre a economia e a preservação do meio ambiente.

A Lei nº 8666/93 - Lei Geral de Licitações e Contratos - norteia as contratações na esfera pública, incluindo obras e serviços de engenharia. Bonatto (2012) discute que esta explicita a obrigatoriedade de promover o desenvolvimento nacional sustentável e no ano de 2010, teve alterada a redação do art. 3º, onde tornou obrigatória a inserção de critérios de sustentabilidade que são regidos por instrução normativa do Ministério do Planejamento. Sendo assim, por obrigações legais, qualquer obra pública deve considerar em seus projetos, critérios de sustentabilidade no ambiente construído, em qualquer esfera e para qualquer natureza de obra edificada.

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.

Além das questões legais, a readequação busca 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.

#### 1.5.4 Justificativa tecnológica

A introdução de tecnologias sustentáveis torna um ambiente preparado para o desenvolvimento. Para tanto, deverão ser utilizados procedimentos técnicos e materiais que contribuam para minimizar o impacto ambiental do meio construído sobre o sítio arquitetônico local (TIMMEREN *et al.*, 2012).

Fatores devem ser considerados na escolha dos materiais, e é improvável que regras absolutas possam servir para todas as situações. A primeira questão refere-se à avaliação do impacto ambiental. As qualidades inerentes a um material e a maneira na qual os materiais são incorporados a um projeto, a uma cultura ou a um estilo de vida local determinarão, em conjunto, o impacto ambiental.

Roaf (2014) elenca fatores determinados pelas qualidades dos materiais e do projeto aplicado a edificações, como sugere no Quadro 1:

Quadro 1 - Fatores determinados pela qualidade dos materiais e projeto.

<b>Materiais</b>	Energia necessária para produção
	Emissões de CO <sub>2</sub> resultantes do processo de fabricação
	Impacto no meio ambiente local resultante da extração
	Toxicidade
	Transporte da unidade de processamento até o canteiro de obras
	Grau de poluição resultante ao final de sua vida útil
<b>Projetos</b>	Localização e o detalhamento de elementos de arquitetura
	Manutenção necessária e os materiais necessários para tal manutenção
	Contribuição do material na redução do impacto ambiental da edificação
	Flexibilidade de um projeto em acomodar mudanças de uso ao longo do tempo
	Vida útil do material e seu potencial de reutilização se a edificação for demolida

Fonte: Adaptado de Roaf, 2014.

Ainda que o uso de telhado verde seja remoto, ao mesmo tempo em que as técnicas utilizadas tenham se originado na arquitetura vernacular que reflete o lugar e o ambiente onde foi formada, a evolução deste sistema deu contemporaneidade aos anseios da sociedade em preservar os recursos naturais dentro dos conceitos de sustentabilidade urbana bem como a inserção de mais áreas verdes na paisagem. Com os recursos tecnológicos disponíveis pode-se prever o uso do telhado verde em determinadas situações e localizações, por estarem disponíveis os conhecimentos das propriedades dos materiais, dos estudos dos ecossistemas, dos dados climáticos e de processamento eletrônico (BALDESSAR, 2012).

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). A implementação de telhados verdes em edificações é executada com a utilização de materiais de menor impacto ambiental e que melhoram significativamente as condições de conforto dos usuários dessas edificações, além de contribuírem para a redução de ilhas de calor presentes especialmente nas grandes cidades, considerando edificações escolares contendo em média 1.500m<sup>2</sup> de construção (Figura 1).

Figura 1 - Cobertura de escola estadual no município de União da Vitória.



Fonte: DEPO/SUDE, 2013.

As solicitações das obras de reparos dentro da Secretaria de Estado da Educação do Paraná são frequentes e no ano de 2012, 98% das intervenções solicitadas pelas escolas referiram-se a problemas de cobertura, principalmente relacionados a falhas de projeto ou execução. Valores qualitativos não são considerados pela secretaria até o momento.

#### 1.5.5 Estruturação do trabalho

A presente dissertação é composta de seis capítulos, o primeiro apresentado nesta introdução que teve a finalidade de demonstrar a relevância da pesquisa, discorrendo sobre o problema, a hipótese, o objetivo, justificativas e estrutura. Os demais capítulos serão resumidamente descritos a seguir.

O segundo capítulo trata da revisão bibliográfica, a qual está estruturada em arquitetura escolar, sustentabilidade aplicada às edificações, telhados verdes e aspectos térmicos relacionados às coberturas.

No terceiro capítulo definiu-se a metodologia, a estratégia utilizada, a coleta de dados e o procedimento de análise.

O quarto capítulo demonstra os dois casos estudados no município de Curitiba: o primeiro trata-se do Colégio Estadual Aníbal Khury e o segundo é o Colégio Estadual Getúlio Vargas.

O quinto capítulo apresenta a análise dos dados levantados e análises comparativas entre as edificações e os dados apresentados.

O sexto capítulo finaliza esta pesquisa com a conclusão deste trabalho e sugestão de trabalhos futuros.



## **CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

A revisão bibliográfica tem como objetivo fornecer um embasamento teórico sobre o tema desta pesquisa. Os itens de 2.1 a 2.4 apresentam o contexto histórico da edificação escolar, arquitetura escolar, aspectos legais na arquitetura escolar pública e padronização de projetos. O item 2.5 trata da readequação de edificações. O item 2.6 discorre sobre o conceito de sustentabilidade aplicado às edificações, passando por alguns conceitos de energia incorporada, ciclo de vida dos materiais, emissão de CO<sub>2</sub> e energia de desconstrução. Os itens de 2.7 a 2.10 tratam dos aspectos relacionados a telhados verdes, contexto histórico, tipologia, características e benefícios. O item 2.11 apresenta casos de aplicação de telhados verdes na arquitetura escolar.

O capítulo 2 é encerrado no item 2.12 com o estado da arte que mostra os aspectos da pesquisa acerca dos assuntos objeto deste estudo e as contribuições acerca deste referencial teórico para os estudos de caso que serão desenvolvidos.

### **2.1 CONTEXTO HISTÓRICO DA EDIFICAÇÃO ESCOLAR**

Kowaltowski (2011) afirma que a escola como instituição de ensino da maneira como é conhecida, é o resultado de um longo processo histórico, cuja evolução explica o modelo aplicado. A educação é vista como a transmissão de valores e o acúmulo de conhecimento de uma sociedade. A origem etimológica da expressão – “trazer à luz a ideia”, “conduzir para fora”-, ou seja, dar a possibilidade de expressão de conteúdos internos individual e socialmente construídos desmistifica o caráter impositivo e unilateral que se possa dar ao processo educativo.

Castro e Posse (2012) afirmam que a partir do século XIX, a instrução popular, concebida como fundamental para o desenvolvimento e o progresso dos países, expande-se na Europa e nos Estados Unidos na condição de obrigatória, gratuita e proporcionada pelo poder público. Apoia-se nos conhecimentos teóricos da ciência e na regulamentação propiciada pelo Estado, estabelecendo diversos níveis de formação institucional.

O Brasil insere-se no contexto internacional e organiza, desde meados do século XIX, um corpo de leis estabelecendo as diretrizes para a rede de escolas públicas, distribuída em todo o território nacional e dividida em modalidades: primária, secundária, normal e profissional. As determinações emanadas do Governo Imperial são seguidas nas províncias, assim como o modelo de escolas ali instaladas. Reproduzem o ideário da modernidade estabelecido pelo poder central sobre a organização e a estrutura da instrução pública e privada. A educação e a produção de edifícios escolares em todo o Brasil no período imperial têm a administração existente na Corte como agente normatizador e são executadas pelas províncias. Logo, a instrução pública implantou-se nas cidades e no meio rural atendendo às determinações legais emanadas de uma política central. Os edifícios projetados e construídos para escolas baseavam-se no conhecimento técnico-científico desenvolvido e aplicado nos países considerados avançados.

A questão educacional, portanto, é acompanhada de regulamentos detalhados, permeados pelo higienismo, tanto em relação à constituição do ensino, como no âmbito construtivo do edifício escolar e de sua implantação no meio urbano.

O edifício escolar passa a simbolizar todas as expectativas de formação plena e disciplinada das crianças, futuros trabalhadores da jovem nação. Ao ser projetado e construído especialmente para o ensino, torna-se um dos componentes mais importantes na instituição da política educacional pública.

Como materializador de um conceito pedagógico, o edifício incorpora conceitos de ordem, controle e disciplina encontrados nos tratados de

arquitetura, manuais técnicos, teses médicas, códigos sanitários e posturas municipais.

O edifício escolar é valorizado pela incorporação dos princípios científicos vigentes:

- programa de necessidades elaborado com base na higiene e na pedagogia;
- distribuição funcional e hierarquizada dos espaços; e
- ênfase no racionalismo construtivo e técnico.

Tais características são apresentadas minuciosamente em livros e periódicos, incorporando conceitos e virtudes que acompanham o edifício escolar até o presente: ordem, funcionalidade, racionalismo, economia e adequação (CASTRO e POSSE, 2012).

## 2.2 ARQUITETURA ESCOLAR

A influência do *design*, ambiência e elementos de projeto está relacionada à forma de como um prédio escolar e a utilização de 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.

O arquiteto, ao definir os espaços e os usos da instituição escolar, pode influenciar a definição do conceito de ensino na escola. Cabe a esse profissional o conhecimento dos aspectos pedagógicos, uma vez que são elementos essenciais a definição do programa de necessidades.

As escolas são instituições onde 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. É imprescindível que os conceitos sobre conservação de recursos naturais, gastos energéticos e conforto no ambiente, sejam corretamente ensinados aos estudantes (KOWALTOWSKI, 2011).

Na resolução CD/FNDE nº 18, de 21 de maio de 2013, escolas sustentáveis são definidas como aquelas que mantêm relação equilibrada como o meio ambiente e compensam seus impactos com o desenvolvimento de tecnologias apropriadas, de modo a garantir qualidade de vida às presentes e futuras gerações. Esses espaços têm a intencionalidade de educar pelo exemplo e irradiar sua influência para as comunidades nas quais se situam. A transição para a sustentabilidade nas escolas é promovida a partir de três dimensões inter-relacionadas: espaço físico, gestão e currículo.

- 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. Esses locais possuem áreas propícias à convivência da comunidade escolar, estimulam a segurança alimentar e nutricional, favorecem a mobilidade sustentável e respeitam o patrimônio cultural e os ecossistemas locais.
- Gestão: compartilhamento do planejamento e das decisões que dizem respeito ao destino e à rotina da escola, buscando aprofundar o contato entre a comunidade escolar e seu entorno, respeitando os direitos humanos e valorizando a diversidade cultural, étnico-racial e de gênero diferente.

- 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.

### 2.3 ASPECTOS LEGAIS NA ARQUITETURA ESCOLAR PÚBLICA SUSTENTÁVEL

A adoção de uma postura sustentável por parte da Administração Pública é imprescindível. Considerando que o objeto da licitação é a seleção da proposta mais vantajosa para a Administração, há que ser instituídos critérios que favoreçam a revitalização de contratos administrativos sustentáveis (ANNUNZIATO, 2011).

De acordo com a redação dada ao *caput* do art. 3º da Lei nº 8666/93 - Lei Geral de Licitações e Contratos, que foi alterada pela lei nº 12.349/2010 a licitação, além de se destinar a garantir a observância do princípio de constitucionalidade da isonomia e da seleção da proposta mais vantajosa para a Administração, também será destinada à promoção do desenvolvimento nacional sustentável. Bonatto (2012) cita que passou a ter, explicitamente, a obrigatoriedade de promover o desenvolvimento nacional sustentável nas contratações públicas. Da redação do art. 3º passou a vigorar a seguinte redação: A licitação destina-se a garantir a observância do princípio constitucional da isonomia, a seleção da proposta mais vantajosa para a administração e a promoção do desenvolvimento nacional sustentável. Ela será processada e julgada em estrita conformidade com os princípios básicos da legalidade, da impessoalidade, da moralidade, da igualdade, da publicidade, da probidade administrativa, da vinculação ao instrumento convocatório, do julgamento objetivo e dos que lhes são correlatos.

O Ministro Celso de Mello, em Ação Direta de Inconstitucionalidade, se expressou neste sentido: O princípio do desenvolvimento sustentável, além de impregnado de caráter eminentemente constitucional, encontra suporte legitimador em compromissos internacionais assumidos pelo Estado brasileiro e representa fator de obtenção do justo equilíbrio entre as exigências da economia e as da ecologia, subordinada, no entanto, a invocação deste postulado, quando ocorrente situação de conflito, entre valores constitucionais relevantes, a uma condição inafastável, cuja observância não comprometa nem esvazie o conteúdo essencial de um dos mais significativos direitos fundamentais: o direito à preservação do meio ambiente, que traduz bem de uso comum da generalidade das pessoas, a ser resguardado em favor das presentes e futuras gerações.

Annunziato (2011) alerta que as licitações devem ser sustentáveis e, por isso, exigem a inserção de critérios ambientais, principalmente, para priorizar a compra de produtos. Em vista disso, foi publicada a Instrução Normativa SLTI/MP nº 01 em janeiro de 2010, que dispõe sobre critérios de sustentabilidade na aquisição de bens, contratação de serviços ou obras pela Administração Pública Federal.

De acordo com os Arts. 4º e 5º da Instrução Normativa SLTI/MP nº 01/2010 são critérios de aferição de sustentabilidade para obras e serviços de engenharia e aquisição de bens e serviços:

Art. 4º. Nos termos do art. 12 da Lei nº 8666, de 1993, as especificações e demais exigências do projeto básico ou executivo, para contratação de obras e serviços de engenharia, devem ser elaborados visando à economia da manutenção e operacionalização da edificação, a redução do consumo de energia e água, bem como a utilização de tecnologias e materiais que reduzam o impacto ambiental, tais como:

I – uso de equipamentos de climatização mecânica, ou de novas tecnologias de resfriamento do ar, que utilizem energia elétrica, apenas nos ambientes aonde for indispensável;

II – automação da iluminação do prédio, projeto de iluminação, interruptores, iluminação ambiental, iluminação tarefa, uso de sensores de presença;

III – uso exclusivo de lâmpadas fluorescentes compactas ou tubulares de alto rendimento e de luminárias eficientes;

IV – energia solar, ou outra energia limpa para aquecimento de água;

- V – sistema de medição individualizado de consumo de água e energia;
- VI – sistema de reuso de água e de tratamento de efluentes gerados;
- VII – aproveitamento da água de chuva, agregando ao sistema hidráulico elementos que possibilitem a captação, transporte, armazenamento e seu aproveitamento;
- VIII – utilização de materiais que sejam reciclados, reutilizados e biodegradáveis, e que reduzam a necessidade de manutenção;
- IX – comprovação da origem da madeira a ser utilizada na execução da obra ou serviço.

Art. 5º. Os órgãos e entidades da Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional, quando da aquisição de bens, poderão exigir os seguintes critérios de sustentabilidade ambiental:

- I – que os bens constituídos, no todo ou em parte, por material reciclado, atóxico, biodegradável, conforme ABNT NBR 15448-1 e 15448-2;
- II – que sejam observados os requisitos ambientais para a obtenção de certificação do Instituto Nacional de Metrologia, Normatização e Qualidade Industrial – INMETRO, como produtos sustentáveis ou de menor impacto ambiental em relação aos seus similares;
- III – que os bens devam ser, preferencialmente, acondicionados em embalagem individual adequada, com o menor volume possível, que utilize materiais recicláveis, de forma a garantir a máxima proteção durante o transporte e o armazenamento;
- IV – que os bens não contenham substâncias perigosas em concentração acima da recomendada na diretiva RoHS (*Restriction of Certain Hazardous Substances*), tais como mercúrio (Hg), chumbo (Pb), cromo hexavalente (Cr(VI)), cádmio (Cd), bifenil-polibromados (PBBs), éteres difenil-polibromados (PBDEs).

A maioria dos critérios ambientais utilizados nas licitações sustentáveis são fixados por atos normativos infra legais, como mostra a citada instrução normativa. Essas medidas são utilizadas como instrumento para incentivar os órgãos administrativos a exigir nas licitações, e as empresas a adotarem em seus processos produtivos padrões e tecnologias comprometidos com o meio ambiente (ANNUNZIATO, 2011).

## 2.4 A PADRONIZAÇÃO DOS PROJETOS

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).

Na história do ambiente escolar, principalmente no Brasil, o projeto arquitetônico padrão surgiu como projeto otimizado para as necessidades locais de construção de escolas públicas. Esse projeto teve a racionalização construtiva como conceito da sua implantação política. O projeto padrão incorpora o conceito da repetição de um modelo, preferencialmente otimizado, e da racionalização dos recursos para a sua viabilização.

A racionalização é um processo de produção de conjunto de ações reformadoras que se propõe substituir as práticas rotineiras convencionais por recursos e métodos baseados em raciocínio sistemático, visando eliminar a casualidade nas decisões. Em termos conceituais a padronização permite uma leitura ou o reconhecimento por igual das intenções de um objeto ou sinal (ROSSO, 1980).

A padronização com racionalização em conjunto, e a repetição do mesmo modelo, surge na História principalmente na intensificação da industrialização. O processo produtivo industrial demanda eficiência e controle para evitar desperdícios e garantir qualidade dos produtos. A padronização construtiva não é uma prática nova. O fato de os romanos terem padronizado seus tijolos em todo o império, revela a percepção das vantagens da normalização. A economia da escala que exige a simplificação das operações também foi um passo importante para aumentar a produtividade na construção. (BARROS e KOWALTOWSKI, 2012).

Apesar da discussão, das críticas da padronização e das premissas do pós-modernismo, a implantação de projetos padrão continua nos programas de muitas instituições de vários países e de vários estados brasileiros.

O partido arquitetônico do projeto padrão procura atender objetivos econômicos bem como a racionalidade construtiva e a funcionalidade. O aspecto econômico leva à aceitação da alternativa de dar algo a todos, em vez de tudo a alguém, facultando aos usuários a complementação e adaptações



posteriores. Um dos limites portanto, da aplicação de um projeto padrão é o acerto das necessidades reais às premissas genéricas do padrão. Em relação ao uso da padronização deve-se lembrar de que as transformações de uso são muito frequentes em equipamentos públicos e instituições.

#### 2.4.1 Projetos padrões do estado do Paraná

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. São compostos pelos seguintes ambientes mínimos:

- Salas de aula;
- Sanitários;
- Biblioteca;
- Laboratório de Ciências;
- Laboratório de Informática;
- Sala de múltiplo uso;
- Administração composta de secretaria, coordenação, orientação, direção, sala de professores, almoxarifado e sanitários;
- Refeitório;
- Cozinha composta de: espaço de preparo e cocção, despensa, depósito de material de limpeza, sanitário e pátio externo com abrigo de resíduos e central de GLP.
- Quadra poliesportiva.

Esses ambientes mínimos são implantados em todos os colégios e seu requisitos obedecem as normativas da Secretaria Estadual de Saúde e a resolução nº 318/2002, códigos da vigilância sanitária no que tange a cozinhas, código de prevenção contra incêndio e pânico, ABNT NBR 9050 quanto aos requisitos de acessibilidade e demais exigências municipais.

Os padrões vigentes em utilização são: 023, 025 e 026. Os padrões 023 e 025 têm características similares e diferem basicamente no número de pavimentos que possui. O projeto padrão 026 é composto por uma única edificação que tem todos os ambientes agrupados e não são modulares.

#### 2.4.2 Projeto padrão 025

O padrão 025 - Figuras 2 e 3 - é composto por módulos que são dispostos em terrenos de no mínimo 8.000m<sup>2</sup> e de topografia pouco acentuada. Possui flexibilização no que tange a ampliação dos ambientes e normalmente tem seus blocos interligados por passarelas cobertas executados após funcionamento.

Figura 2 - Projeto padrão 025. Vista lateral do acesso principal (à esquerda) e vista bloco salas de aula (à direita).



Fonte: SUDE (2006).

Figura 3 - Projeto padrão 025. Vista circulação entre blocos (à esquerda) e vista circulação central.



Fonte: SUDE (2012).

#### 2.4.3 Projeto padrão 023

O padrão 023 – Figura 4 e 5 - somente difere do padrão 025 pela composição em 2 pavimentos. Os ambientes administrativos e refeitório são executados em um único pavimento e os demais em 2 pavimentos com acesso vertical por escadas e elevador de acessibilidade. Necessitam de terrenos um pouco menores comparados ao padrão 025. É possível atender as demandas com lotes a partir de 6.000m<sup>2</sup> e com topografia pouco acentuada.

Figura 4 - Projeto padrão 023. Vista bloco salas de aula (à esquerda) e vista refeitório e bloco administrativo (à direita).



Fonte: SUDE (2006).

Figura 5 - Projeto padrão 023. Vista circulação central entre módulos.



Fonte: SUDE (2006).

## 2.5 A REQUALIFICAÇÃO DE EDIFICAÇÕES

Moretti (2005) diz que a possibilidade de readequação um edifício está relacionada à concepção do projeto original, gerando espaços flexíveis, atendendo alterações de uso e função, evitando grandes demolições e reformas significativas.

Freitas *et al.* (2001) afirma que projetos mal concebidos, a desconsideração dos condicionantes do meio físico, condições precárias de infraestrutura, análise socioeconômica insuficiente, entre outros, têm levado a impactos ambientais e degradações que extrapolam o próprio empreendimento.

Muitos dos procedimentos técnicos têm buscado uma abordagem integrada entre o meio ambiente e a qualificação desses espaços. De acordo com Freitas *et al.* (2001), a análise comparativa de alternativas projetuais, os estudos de impacto ambiental, a consideração dos requisitos NBR ISO 14001, entre outros, exemplificam metodologias de consideração do meio ambiente

nos projetos de empreendimentos habitacionais ou nas intervenções de requalificação.

O conceito de readequação é frequentemente utilizado em edificações já executadas e é amplamente citado em manuais e códigos de posturas relacionados a obras e serviços de engenharia em todas as esferas, seja municipal, federal ou estadual.

É entendido pelo FDE<sup>2</sup> (2014), como construção ou adaptação de ambientes complementares que não impliquem aumento da capacidade de atendimento e do número de vagas. São exemplos: a construção de salas de leitura e de informática, cozinhas etc. A adequação é necessária quando há aumento da capacidade de atendimento ou alteração do nível de ensino, de modo a complementar as instalações do imóvel.

## 2.6 O CONCEITO DE SUSTENTABILIDADE APLICADO ÀS EDIFICAÇÕES

Boff (2013) diz que o conceito de “sustentabilidade” possui origem a partir das reuniões organizadas pela ONU nos anos 70 do século XX, quando surgiu a consciência dos limites do crescimento que punha em crise o modelo vigente praticado em quase todas as sociedades mundiais. No ano de 1972 realizou-se em Estocolmo a Primeira Conferência Mundial sobre o Homem e o Meio Ambiente. Os resultados não foram significativos, mas seu melhor fruto foi a decisão de criar o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (Pnuma). Outra conferência realizada em 1984 deu origem à Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento onde os trabalhos desta comissão, compostas por dezenas de especialistas, encerraram-se em 1987

---

<sup>2</sup> FDE – Criada em junho de 1987, a FDE - Fundação para o Desenvolvimento da Educação é uma autarquia vinculada a Secretaria de Estado da Educação de São Paulo que contribui para o desenvolvimento da rede pública de ensino, respondendo às demandas e orientações necessárias implementação de projetos escolares no estado.

com o relatório da então Primeira-ministra norueguesa Gro Harle Brundland com o conhecido Relatório de Brundland. Eis aí que aparece a definição de desenvolvimento sustentável como aquele que atende as necessidades das gerações atuais sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atenderem as suas necessidades e aspirações (EDWARDS, 2013).

Moraes (2011) demonstra através no quadro 2, as prioridades e características do desenvolvimento sustentável aplicadas à construção civil.

Quadro 2 - Características do desenvolvimento sustentável na construção civil.

ASPECTOS	DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL
<b>SOCIAL</b>	• Grau de pobreza e educação,	• Fonte de renda aos trabalhadores,
	• Condições de trabalho,	• Oportunidade de educação,
	• Moradia e habitação,	• Respeito a cultura e condições locais.
	• Cultura e tradições,	
	• Etc.	
<b>AMBIENTAL</b>	• Políticas e práticas locais,	• Incentivo a melhorias e práticas,
	• Clima,	• Consideração de clima aliado ao projeto,
	• Recursos naturais disponíveis,	• Preservação / racionalização de recursos naturais,
	• Tecnologias existentes,	• Gestão ambiental da execução das obras,
	• Etc.	• Adequação dos projetos, materiais e tecnologias às práticas de sustentabilidade.
<b>ECONÔMICO</b>	• Desenvolvimento industrial,	• Melhoria nos processos de produção,
	• Geração e distribuição de renda,	• Gestão ambiental dos processos de produção,
	• Recursos naturais disponíveis,	• Acesso a recursos específicos,
	• Tecnologias existentes,	• Alterações de leis e regulamentações.
	• Leis e regulamentações existentes,	• Redução de custos ao longo do ciclo de vida e consequente aumento de lucratividade,
	• Etc.	

Fonte: Adaptado de Moraes, 2011.

Nos itens 2.6.1 a 2.6.4 serão apresentados os conceitos relacionados a edificações mais sustentáveis que subsidiarão a compreensão de revisão bibliográfica relacionada a telhados vegetados.

### 2.6.1 Energia incorporada

De acordo com Callister (2003), na natureza, matéria e energia são conservadas, não podem ser criadas nem destruídas e este fenômeno pode ser explicado pelas leis da física, ou seja, a lei da conservação da massa, a primeira lei da termodinâmica (conservação da energia) e a segunda lei da termodinâmica (qualidade da energia).

Nos processos de transformação de energia, embora a energia seja preservada, a qualidade é sempre degradada. Conclui-se então que sempre restarão resíduos (poluição), e a energia reciclada terá sempre qualidade inferior a original.

“As bases do desenvolvimento sustentável são fixadas ao modelo representado por um sistema aberto, que depende de um suprimento contínuo e inesgotável de matéria e energia” (CALLISTER, 2003).

A análise de energia incorporada é um método viável de ser utilizado para estimar o impacto ambiental de diferentes atividades. Conhecer a quantidade de energia necessária para produzir materiais de construção é uma importante ferramenta para medir o impacto ambiental das edificações.

Roaf (2014) afirma que a energia incorporada descreve a quantidade de energia empregada para produzir um objeto. É um fator importante para a tomada de decisões quanto à escolha de materiais.

A energia incorporada é usada como um indicador de sustentabilidade das edificações, já que a fabricação de materiais de construção é frequentemente a principal fonte de emissões de gases poluentes (TAVARES, 2006). Um panorama deste consumo, índice de uso e seus efeitos é apresentado no Quadro 3.



Quadro 3 - Consumo de materiais e Energia no setor da construção civil.

Problema	Índice de uso	Efeitos
Uso de matérias primas	40% das atividades de mineração	Destuição dos ambientes de mineração, geração de resíduos tóxicos, remoção de florestas, poluição do ar e água do processamento.
Uso de madeira natural	25% das reservas exploradas	Desflorestamento, perda da diversidade de fauna e flora, desertificação e comprometimento de mananciais de água.
Uso de recursos energéticos	40% do total de fontes de energia	Poluição do ar, chuva ácida, mudança de cursos de rios, lixo atômico e aumento do aquecimento global.
Uso de água	16% do total de recursos hídricos	Poluição de córregos e rios, escassez de água para consumo humano.
Geração de resíduos	50% do lixo municipal	Acúmulo de resíduos com infiltrações de líquidos tóxicos e metais pesados para os lençóis freáticos.
Má qualidade do ar e espaços internos	Comprometimento da qualidade do ar interno de 30% das novas edificações ou das reformadas	Aumento dos índices de doenças respiratórias e perdas de 10 bilhões de dólares em produtividade das empresas.

Fonte: Tavares, 2006 apud Roodman *et al*, 1995.

Thormark (2001) aponta que o ciclo de vida energético da edificação é dividido em produção (incluindo os processos desde a extração da matéria-prima até que o material esteja pronto para deixar a fábrica), construção, operação, manutenção e demolição. Complementa que a energia incorporada pode chegar a 40% de toda aquela que é consumida durante a vida da edificação (com base em um ciclo de vida de 50 anos).

Os materiais utilizados nas edificações causam impactos ambientais. A importância da energia incorporada e destes impactos pode ser examinada com o enfoque do ciclo de vida dos materiais e ser aplicado a todos os produtos, desde uma edificação até um elemento individual, ou apenas a um processo.

Graf e Tavares (2010) afirmam que o aumento da energia incorporada total de uma edificação em função do acréscimo de materiais para um maior isolamento da edificação pode contribuir para um menor gasto energético ao longo da sua vida útil.

### 2.6.2 Ciclo de vida dos materiais

A análise de Ciclo de Vida (ACV) é utilizada para a avaliação e escolha de alternativas menos impactantes negativamente para o meio ambiente (OBA, 2014). O princípio desta análise consiste na elaboração de um inventário das repercussões ambientais de um produto/atividade e que contém entradas e saídas do sistema de produção considerado, tais como, matérias-primas, energia, produto, subprodutos e resíduos. O objetivo e escopo da ACV devem englobar itens ambientais do produto ou serviço estudado. Entre as categorias de impactos estudadas estão: mudanças climáticas, acidificação, eutrofização, destruição da camada de ozônio, uso do solo, qualidade do ecossistema, saúde humana, uso de recursos, etc.

### 2.6.3 Emissão de gases de efeito estufa – CO<sub>2</sub>

Entre os gases do efeito estufa, inclui-se: vapor d'água, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), ozônio troposférico (O<sub>3</sub>) e clorofluocarbonetos (CFC's).

Destes, o CO<sub>2</sub> 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).

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).

Sanquetta *et al.* (2013) citam que 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. Essas alterações do clima podem estar relacionadas ao aumento de concentração de gases de efeito estufa responsáveis pelo aquecimento da temperatura na Terra.

#### 2.6.4 Energia de desconstrução e potencial de reciclagem

Os últimos eventos do ciclo de vida de uma edificação dizem respeito à sua desconstrução. Este termo caracteriza não somente a demolição propriamente dita da edificação, mas também o destino do material demolido, que pode ser reusado, reciclado ou simplesmente deposto como entulho ou aterro. Em todas as possibilidades há dispêndio de energia, que para efeito de definição são analisadas de duas formas: considerando-se as atividades de demolição com respectivo transporte dos resíduos e, ou, seu reaproveitamento através de um potencial de reciclagem (TAVARES, 2006).

Segundo Thormark (2001) o potencial de reciclagem é a forma de expressar a quantidade da energia embutida de uma edificação que, através da reciclagem, poderia ser usada posteriormente. Reciclagem neste contexto é dividida em três formatos:

Reuso: o material é usado da forma original como foi concebido, o que pode implicar em preparações ou renovações.

Combustão: uso como combustível energético para novos materiais.

Reciclagem de material: pode ser realizada em ciclos abertos ou fechados. Um ciclo fechado consiste na sua utilização como matéria prima para fabricação de materiais semelhantes ao original. Já, em um ciclo aberto aproveita-se o material reciclado em um uso diferente do original.

Esta pesquisa considera um ciclo fechado, onde os materiais previamente empregados na construção original são novamente aproveitados na execução da técnica de readequação considerada.

Uma consideração final sobre a definição dos consumos energéticos inerentes à desconstrução, diz respeito ao tempo de vida útil da edificação. Fica implícito que se trabalha com a projeção da tecnologia atual de serviços e transportes para o cálculo destes consumos daqui a 50 anos, por exemplo. E não só estas condições, mas também as de reuso e reciclagem certamente evoluirão no sentido de melhor aproveitamento dos materiais e consequente redução do consumo energético para novas edificações. Reforça esta consideração o fato de que os atuais sistemas de certificação para construções sustentáveis não só valorizam os itens de reuso e reciclagem, como também a busca de novos e melhores padrões de desempenho destes itens (SCHEUER e KEOLIAN, 2002).

## 2.7 TELHADOS VERDES – CONTEXTO HISTÓRICO

A incorporação de vegetação em superfícies construídas, verticais ou horizontais, é uma prática construtiva bioclimática milenar que pode ser observada em diversas arquiteturas vernaculares ao redor do planeta. Tendo como exemplo mais antigo (2113 A.C.) o templo do Zigurate de Nanna, em Ur, na Mesopotâmia (atualmente Iraque), a história dos telhados vegetados passa por civilizações antigas como os Romanos e os Vikings. Estes últimos disseminaram o conceito em localidades como a Islândia, onde os telhados vegetados turfados foram largamente utilizados até meados da 2ª guerra mundial. Exemplos são encontrados no México pré-colombiano, Índia, Espanha e Rússia durante os séculos XVI e XVII. No começo do século XX, dois grandes expoentes da Arquitetura Moderna utilizaram telhados vegetados em seus projetos: Frank Lloyd Wright utilizou intensamente paredes e telhados vegetados em suas obras, podendo-se citar como exemplo o projeto “Walter

House” em Iowa. Le Cobusier destacava os telhados vegetados como um dos elementos de uma nova arquitetura. Uma das residências em que o arquiteto empregou o dispositivo foi a “Maison Jaoul” em Paris.

A partir da metade do século XX, os telhados vegetados deixaram de ser somente uma prática construtiva vernacular remanescente, passando a ser largamente adotados no Norte da Europa. Tal renascimento ocorreu principalmente devido ao surgimento de questões relativas à qualidade do ambiente urbano e perda acelerada de espaços verdes nas áreas intensamente desenvolvidas (PECK *et al*, 1999).

No início da década de 60 a tecnologia dos telhados vegetados foi desenvolvida e aprimorada em muitos países Europeus, destacando-se Suíça e Alemanha. Nos anos 70 uma significativa quantidade de pesquisas técnicas dos diferentes componentes de um telhado vegetado foi produzida principalmente na Alemanha, onde o mercado destes se expandiu rapidamente a partir da década de 80.

Este crescimento foi estimulado por legislações estaduais e municipais fundamentadas em critérios de eco design e subsídios monetários. Estima-se que mais de 10% de todos os telhados planos na Alemanha possuem algum tipo de telhado vegetado, algo equivalente a 55 milhões de metros quadrados de área vegetada (PECK *et al.*, 1999).

## 2.8 TELHADOS VERDES – CONTEXTO INÍCIO SÉCULO XXI

Recuperar o meio consiste em reabilitar edifícios e espaços para as novas funções urbanas e ambientais. A aplicação de telhados verdes pode ser uma alternativa 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.

Políticas de implementação de telhados verdes têm como pontos motivadores os benefícios associados ao gerenciamento do escoamento pluvial e com o potencial de mitigação das ilhas de calor urbano (LAMBERTS *et al*,

2010). Adicionalmente, Castleton *et al.* (2010) considera 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 – Figura 6.

Figura 6 - Telhados vegetados em Hannover (à esquerda) e em Berlim (à direita).



Fonte: Minke (2005).

## 2.9 TELHADOS VERDES – TIPOS E CARACTERÍSTICAS

A cobertura verde é conceituada como o recobrimento das edificações com vegetações horizontais, verticais ou inclinadas com o uso de plantas adaptadas às condições locais (UGALDE, 2004). Segundo Tassi *et al.* (2014), um telhado verde apresenta a seguinte estrutura (Figura 7):

- (a) camada de vegetação: a cobertura vegetal deve ser adequada às condições climáticas do local. A vegetação atua interceptando uma parcela da chuva, evitando que ela atinja o solo. É por meio do processo de evapotranspiração que a água é perdida para a atmosfera e o potencial de retenção de água no substrato é aumentado. Adicionalmente, a vegetação retarda o escoamento superficial, que passa a ocorrer quando o substrato atinge a saturação;
- (b) substrato: é constituído pela camada de solo, servindo de suporte para a fixação da vegetação, fornece água e nutrientes necessários para a

manutenção desta. Essa camada é igualmente importante para o armazenamento temporário da água durante os eventos chuvosos;

(c) geotêxtil: constitui uma camada filtrante que separa as camadas de vegetais e substrato da camada drenante. Ela evita a migração de partículas do substrato para o interior da camada drenante, reduzindo a funcionalidade do telhado verde;

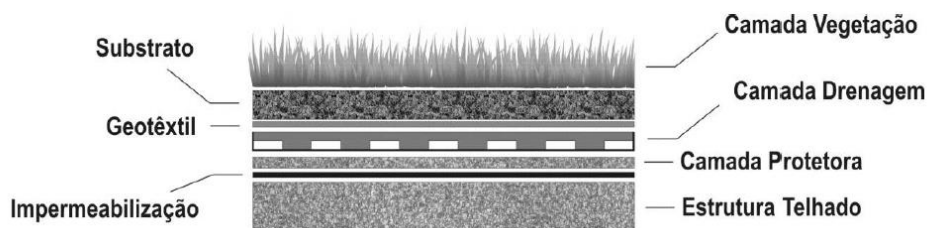
(d) camada de drenagem: em telhados praticamente horizontais, como é o caso dos telhados verdes, é fundamental a existência da camada de drenagem, evitando alagamentos indesejáveis e estresse hídrico da vegetação. Além disso, a camada de drenagem atua retendo parte da água da chuva, necessária para a vegetação durante períodos de estiagem;

(e) camada protetora: destina-se à retenção da umidade e nutrientes acima da estrutura do telhado, fornecendo proteção física para a membrana de impermeabilização contra o crescimento das raízes da vegetação;

(f) impermeabilização: normalmente realizada com o emprego de hidro-repelentes, de maneira a evitar o contato da água com a estrutura do telhado;

(g) estrutura do telhado: deve suportar toda a carga do telhado verde.

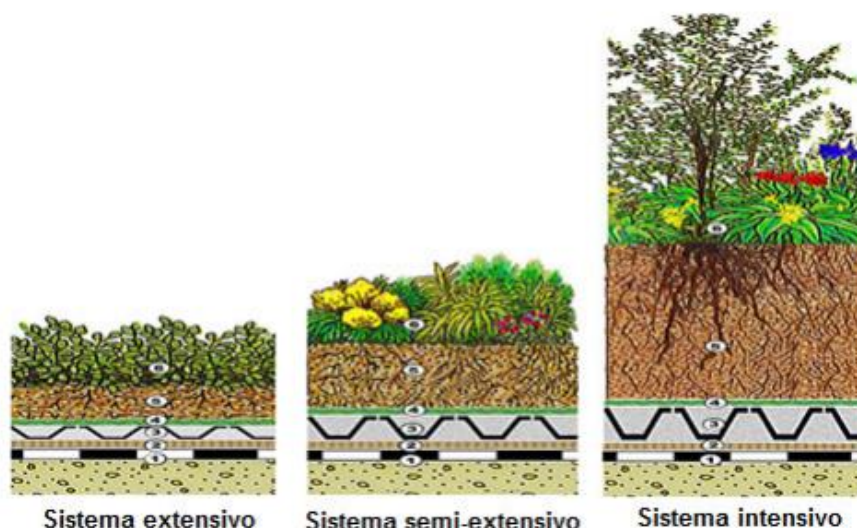
Figura 7 - Camadas do telhado verde.



Fonte: TASSI *et al.*, 2004.

Existem três principais tipologias construtivas de telhados verdes: extensivos, semi-intensivos e intensivos (Figura 8).

Figura 8 – Tipos de telhados verdes.



Fonte: IGRA, 2014.

### 2.9.1 Telhados verdes extensivos

Os telhados verdes extensivos são caracterizados pelo seu baixo peso (70 a 170 kg/m<sup>2</sup>), pela camada de substrato delgada (5 a 15cm), 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%.

A camada de vegetação de um telhado vegetado extensivo deve estar preparada para condições ambientais extremas e para sobreviver em camadas mínimas de substrato. As espécies vegetais utilizadas devem suportar a exposição direta e indireta aos raios solares, aos ventos predominantes, geadas e congelamento quando for o caso. As plantas mais recomendadas para os telhados verdes extensivos são as rasteiras e suculentas, de fácil



regeneração, nativas da localidade em que se encontra. Tais plantas possuem mecanismos especiais de adaptação e sistemas de enraizamento rasteiro que se adaptam a camadas de substrato delgadas e condições ambientais extremas. Castleton *et al.* (2010) afirma que o sedum é uma planta comum e adequada para uso em telhados verdes extensivos. São plantas suculentas, que armazenam água em suas folhas sendo assim altamente resistentes a seca. Tem porte pequeno e espalham-se na estrutura, oferecendo uma boa cobertura e proteção da membrana do telhado, sendo de fácil instalação e requer um mínimo de manutenção. Normalmente a água é armazenada no substrato, e a drenagem, ou camada de retenção, é suficiente para sustentar a necessidade hídrica das plantas (TASSI *et al.*, 2014).

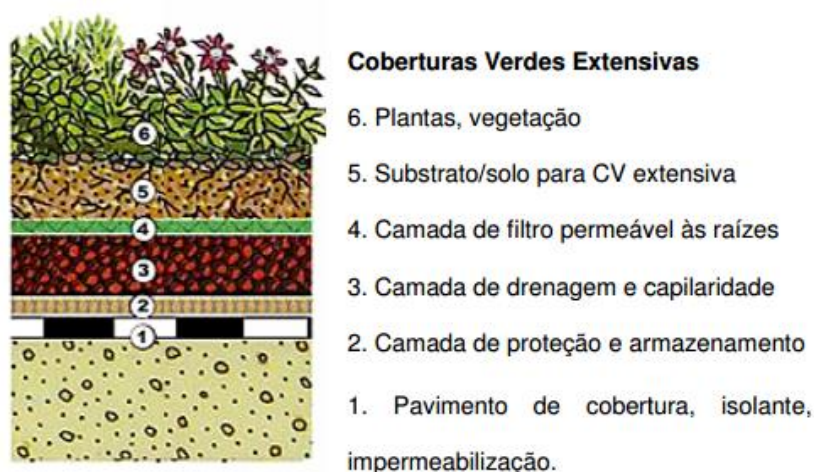
Quanto ao tipo de substrato utilizado, Lamberts *et al.* (2010) cita que no caso de substrato composto por solos, que foi utilizado no experimento Casa Eficiente, o ideal para telhados vegetados extensivos deve ser composto por 75% de solo mineral e 35% de solo orgânico. O primeiro é caracterizado pela alta porosidade que permite a retenção de água, drenagem e aeração. O segundo é caracterizado pela presença de húmus e compostos orgânicos altamente fibrosos que permitem a nutrição das plantas. Se o substrato utilizado for à base de solos, será indispensável também a camada geotêxtil filtrante, que deve evitar o lixiviamento de partículas mais finas do solo para a camada de drenagem, processo que poderia inutilizar a mesma. O material utilizado deve ser leve, à prova de raízes e permanente.

Lamberts *et al.* (2010) afirma que a camada drenante serve para remoção do excesso de água quando as camadas de vegetação e de substrato ficam saturadas e para armazenamento de água para as plantas nos períodos mais secos. Pode ser constituída de uma camada de agregados graúdos (brita, seixo, argila expandida), por painéis de espuma absorvente, ou pode ser constituída especialmente por uma camada manufaturada que possui diversos recipientes (como uma colmeia) para armazenamento da água captada.

A camada impermeabilizante é tipicamente constituída de materiais termoplásticos, devendo ser afixada seguramente na camada estrutural. Se a

camada de impermeabilização não possuir agentes químicos de proteção anti raízes, uma camada adicional deve ser aplicada para a realização de tal função, sendo esta denominada barreira anti raízes, podendo ser de polietileno de alta densidade - PEAD - de no mínimo 200 micras de espessura (LAMBERTS *et al.*, 2010).

Figura 9 - Cobertura verde extensiva - Corte longitudinal.

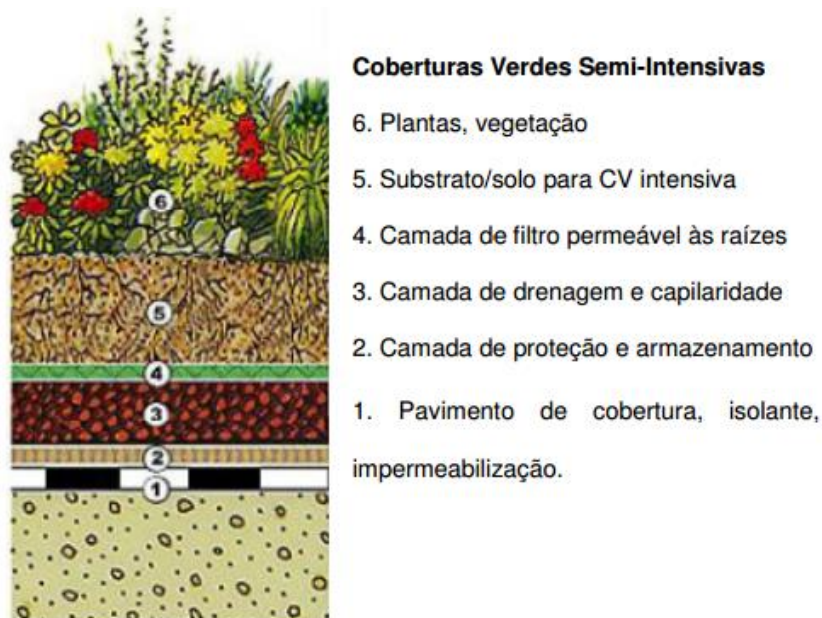


Fonte: IGRA, 2014.

### 2.9.2 Telhados verdes semi-intensivos

Há ainda outra subdivisão que o classifica em semi-intensivos, caracterizados por altura de substrato de 12 a 25 cm, peso de 120 a 200 kg por m<sup>2</sup> podendo abrigar uma maior diversidade de plantas (se comparado aos extensivos), como alguns tipos de arbustos, plantas lenhosas e ervas, demandando de manutenções periódicas (IGRA, 2010), além de possibilitar área de lazer.

Figura 10 - Cobertura verde semi-intensiva - Corte longitudinal.



Fonte: IGRA, 2014.

Figura 11 - Telhado verde semi-intensivo.



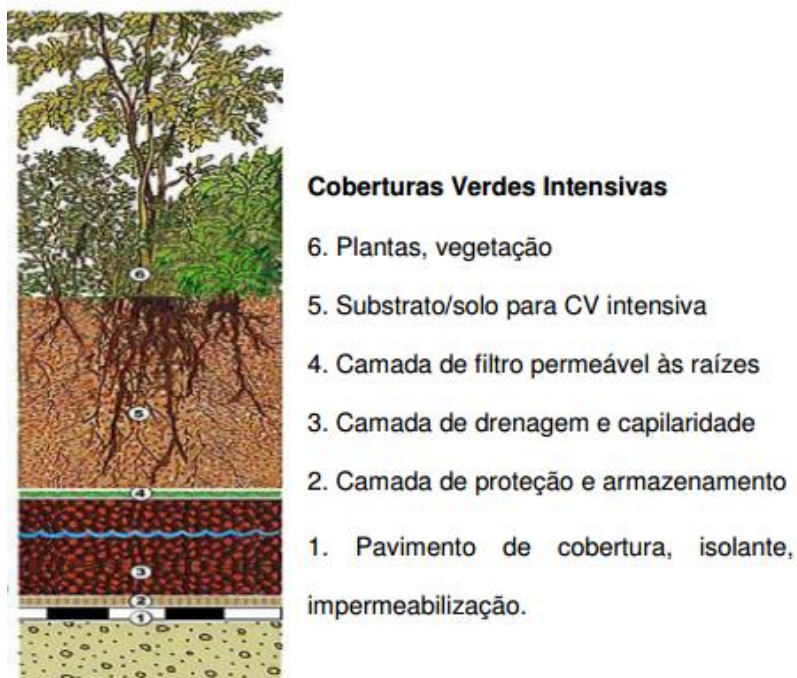
Fonte: IGRA, 2014.

### 2.9.3 Telhados verdes intensivos

Os telhados verdes intensivos são caracterizados pelo alto peso (300 a 900 kg/m<sup>2</sup>, podendo suportar até árvores), pela camada de substrato espessa (15 a 90 cm), permitindo assim a utilização de plantas de enraizamento mais profundo, pela grande necessidade de manutenção com maior variedade de plantas, necessidade de irrigação frequente e apresentam alto custo de

manutenção. Conforme a concepção de projeto utilizada, podem atender a finalidades desportivas, recreativas e de lazer, comumente indistinguíveis de jardins naturais (HENEINE, 2008 *apud* TASSI, 2014).

Figura 12 - Cobertura verde extensiva - Corte longitudinal.



Fonte: IGRA, 2014.

Os telhados intensivos demandam mais água e adubo, e a estrutura para suportar esses jardins é mais reforçada devido ao peso atribuído a esse tipo de cobertura quando saturada.

Figura 13 - Telhado verde extensivo (à esquerda) e telhado verde intensivo (à esquerda).



Fonte: IGRA, 2014.

## 2.10 TELHADOS VERDES – BENEFÍCIOS

Segundo Castleton *et al.* (2010), em pesquisas no Reino Unido e outros países desenvolvidos, os edifícios são responsáveis por cerca de metade do consumo de energia primária. Esta seção abordará os benefícios potenciais de redução de energia de construção decorrentes das propriedades térmicas melhoradas de um telhado verde, portanto, as emissões de CO<sub>2</sub>.

Segundo Minke (2005), os telhados verdes conduzem em essência, uma construção ecológica e econômica:

- Diminuem as superfícies pavimentadas,
- Produzem oxigênio e absorvem CO<sub>2</sub>,
- Filtram as partículas de poeira absorvendo as partículas nocivas,
- Evitam o reaquecimento das coberturas,
- Reduzem as variações de temperatura,
- Diminuem as variações de umidade do ar,
- Maior vida útil se corretamente executado,
- Isolamento térmico,
- Protegem dos intensos raios solares do verão nos comodos imediatamente inferiores ao telhado;
- Reduzem a transmissão sonora,

- Incombustíveis,
- Aumenta a absorção de chuva minimizando os impactos nos sistemas públicos.

### 2.10.1 Isolamento térmico

A implementação de um telhado verde pode melhorar as propriedades de isolamento de um edifício, reduzindo assim o consumo energético, atuando na redução de temperatura no verão e aumento de temperatura no inverno, através do acréscimo de massa térmica, estabilizando assim as temperaturas durante todo o ano (CASTLETON *et. al*, 2010). Estudos realizados por Alcazar e Bass (2005), demonstram que o telhado verde provê uma economia de energia de 1% a 6% para o resfriamento e 0,5% no aquecimento. As maiores reduções foram observadas em ambientes imediatamente abaixo das coberturas e nenhum benefício foi encontrado em outros pavimentos.

Estudos comparativos entre telhas metálicas com isolamento térmico e telhados verdes, Castleton *et. al*. (2010), observou que o pico da temperatura interna é ligeiramente atrasado e a temperatura interna é ligeiramente mais baixa para o telhado de referência. Isso é devido ao efeito de inércia térmica do telhado verde. A presença de uma camada de isolamento substancial significa que apenas uma proporção muito pequena da grande redução do fluxo de calor é traduzida para uma redução da temperatura interna. No inverno, a temperatura interior sob os telhados verdes foi mais frio à noite e de manhã do que o telhado de referência, mas esta foi atribuída às diferentes necessidades operacionais dos ambientes sob cada telhado. A diferença de condições de funcionamento dos ambientes não foi mencionada em relação aos resultados de verão. A perda de calor um pouco maior durante o dia foi encontrado para o telhado de referência o que mostra que os telhados verdes têm reduzido a perda de calor através do telhado.



Um experimento realizado por Vecchia (2005), comparando o comportamento térmico de um telhado verde com sistemas tradicionais de cobertura existentes no Brasil (telha cerâmica, aço galvanizado, laje de concreto e fibrocimento ondulado) comprovou a eficiência do telhado verde perante os demais. Os resultados demonstraram que o telhado verde foi o que apresentou menor amplitude térmica (9,2°C), três vezes menor que os demais sistemas, para temperaturas do ar acima de 20°. Nessas condições, o telhado verde conseguiu reduzir a temperatura do ambiente interno. Para temperaturas mais baixas, o telhado verde possibilitou aumento da temperatura interna. O Quadro 4 mostra alguns dos principais resultados desta pesquisa.

Quadro 4 - Estudo da variação térmica em diferentes tipos de telhados.

	tsi(°C) telha cerâmica	tsi(°C) aço galvanizado	tsi(°C) fibrocimento ondulado 6mm	tsi(°C) laje concreto	tsi(°C) cobertura verde leve CVL	(°C) temperatura ar externo
máxima	50,9	57,8	48,6	45	26,7	34
média	32,9	35,9	25,6	31,8	22,1	27,1
mínima	8,5	9,5	9,5	11,5	17,5	12,7
A (amplitude térmica)	42,5	48,4	39,1	33,4	9,2	21,4

Fonte: Adaptado de Vecchia (2005).

Wong *et al.* (2003) atestam que, do total da radiação solar absorvida pelos telhados verdes, 27% é refletida, 60% é absorvida pelas plantas e solo e 13% é transmitida dentro do solo. No telhado verde, o valor como isolamento é considerado tanto nas plantas como na camada de substratos. Mesmo sem considerar o aumento da espessura do telhado com camadas adicionais de substrato e drenagem, a camada pode proteger cerca de 87% da radiação solar enquanto que uma cobertura convencional recebe 100% de exposição direta. Estudos têm demonstrado temperaturas interiores (sem refrigeração) de cerca de 3°C a 4°C a menos sob um telhado verde, com temperatura ambiente exterior entre 25°C e 30°C. A profundidade da camada de substrato e o tipo de planta escolhido pode variar os valores de isolamento. O aumento de

profundida no substrato aumenta o valor de isolamento proporcionando um decréscimo nos custos de energia relacionado à redução de cargas de refrigeração no interior do edifício.

O experimento intitulado Casa Eficiente<sup>3</sup> de iniciativa da Universidade Federal de Santa Catarina, demonstrou que o emprego do telhado vegetado extensivo, oferece uma alternativa viável de estratégia bioclimática, apresentando baixo custo de manutenção com impactos significativos no desempenho térmico da edificação, podendo minimizar a dependência da utilização de sistemas de condicionamento artificial.

Lamberts *et al.* (2010) diz que o comportamento térmico de telhados verdes sugere que neste conjunto físico, as funções biológicas das plantas são responsáveis pela absorção de uma proporção da radiação solar incidente, gerando o resfriamento passivo dessa cobertura. Somado a isto, o efeito sombreador da camada de vegetação sobre as superfícies construídas, o albedo da vegetação e a baixa difusividade térmica oferecida pela camada de solo úmida (massa térmica), contribuem na diminuição das temperaturas superficiais, assim como na diminuição do fluxo de calor para o interior da edificação através da cobertura.

A diminuição do fluxo de calor para dentro das edificações pode ser de grande interesse para a melhoria do conforto interno, através da redução de ganhos térmicos excessivos nos períodos mais quentes, implicando na redução do consumo de energia elétrica para refrigeração. A diminuição das temperaturas superficiais implica na diminuição das temperaturas do microclima urbano, de maneira que uma aplicação de telhados verdes em larga escala poderia reduzir os efeitos nocivos das ilhas de calor.

---

<sup>3</sup> A Casa Eficiente, localizada em Florianópolis, SC, é o resultado da parceria estabelecida entre a ELETROSUL, ELETROBRAS/PROCEL Edifica e a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), através do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE). O projeto foi concebido como uma vitrine de tecnologias de ponta, contando com pesquisadores do LabEEE.





por evapotranspiração, 30,9% por troca radioativa sendo 1,2% desse calor transferido ao pavimento inferior.

### 2.10.3 Consumo de dióxido de carbono

A vegetação dos telhados verdes, como todas as plantas, consome  $\text{CO}_2$  do ambiente e libera oxigênio, devido ao processo de fotossíntese em que 6 moléculas de  $\text{CO}_2$  e 6 moléculas de  $\text{H}_2\text{O}$  mediante um consumo de 2,83KJ, produzem 1 molécula de  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  e 6 moléculas de  $\text{O}_2$  (MINKE, 2005).

### 2.10.4 Impermeabilização

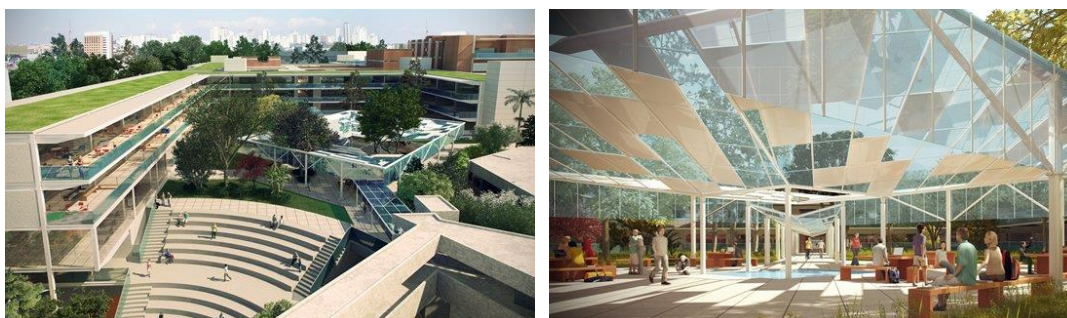
A durabilidade de todos os telhados convencionais se cobertos com betume, telhas, ripas, metal, chapas onduladas ou similares, é limitada por influência das intempéries. Calor, frio, chuva, raios ultravioletas, ação dos ventos assim como o ozônio e gases provenientes das indústrias causam danos mecânicos e ou processos de decomposição química ou biológica. O betume sobre as superfícies cobertas necessitam suportar na Europa, por exemplo, diferenças de temperaturas de  $100^\circ\text{C}$  ( $-20^\circ\text{C}$  a  $+80^\circ\text{C}$ ). Se este telhado receber cobertura vegetal, se reduz a temperatura em aproximadamente  $30^\circ\text{C}$ . Por sua vez a impermeabilização do telhado ficaria completamente protegida dos raios ultravioletas e danos mecânicos. Na Alemanha, segundo informações do Ministério Federal para Ordenamento de espaços, Construção e Urbanismo, enquanto 80% dos telhados planos apresentaram os primeiros danos de execução depois de 5 anos, um telhado verde com uma correta execução de sua impermeabilização e de suas junções, tem uma vida útil considerada interminável (MINKE, 2005).

## 2.11 TELHADOS VERDES – CASOS EXISTENTES

Existem no Brasil casos de escolas construídas ou adaptadas contemplando técnicas e materiais mais sustentáveis.

Na esfera privada, um exemplo de arquitetura institucional escolar a citar é a Escola Graduada de São Paulo, também conhecida como *Graded School*. A edificação buscou adaptar-se ao crescimento da cidade e às necessidades relacionadas às questões de sustentabilidade e de estrutura compatíveis ao nível de estudos que oportuniza. Dentre as soluções implementadas, destaca-se a utilização de coberturas vegetais. Para a cobertura, foram especificados módulos ajardinados confeccionados 100% em plástico reciclado, onde receberam substrato exclusivo e plantadas espécies vegetais de alta resistência à seca e baixa demanda de manutenção. Buscou-se com isso, diminuir a temperatura interna das salas de aula e colaborar na obtenção de um micro clima natural mais adequado.

Figura 14 - Graded School em São Paulo.



Fonte: Site do colégio (2015).

Figura 15 - Graded School em São Paulo.



Fonte: Site do colégio (2015).

Na esfera pública, o Colégio Estadual Erich Walter Heine foi construído em parceria pública-privada com o governo estadual e a prefeitura do Rio de Janeiro, em um dos bairros com pior índice de desenvolvimento humano da cidade, Santa Cruz, situado na zona oeste. Além de energia solar e coleta seletiva, o colégio tem instalações que captam a água da chuva para serem utilizados nos sanitários, jardins e na limpeza da escola, com economia de 50% da água potável. As lâmpadas LED em todo o edifício reduzem em até 80% o consumo de energia. O formato de cata-vento da construção e o telhado verde reduzem a temperatura, em uma região que facilmente ultrapassa 40°C no verão. A unidade possui ainda uma área com uma piscina semiolímpica, com deck de madeira verde e borda revestida por um material que não absorve calor.

Figura 16 - Colégio Estadual Erich Walter Heine localizado no Rio de Janeiro.



Fonte: Archdaily (2015).

Figura 17 – Telhados verdes do Colégio Estadual Erich Walter Heine.



Fonte: Archdaily (2015).

## 2.12 ESTADO DA ARTE

A pesquisa bibliográfica realizada compreendeu a busca por periódicos, dissertações e teses que contemplem a temática arquitetura escolar, readequação de edifícios e telhados verdes.

A compatibilização entre os três elementos citados é objeto de poucos estudos. Frequentemente o assunto é tratado de forma fragmentada e em diferentes periódicos, sendo que muita informação citada nesta pesquisa, originou-se na busca por pesquisas na área pedagógica e não somente na arquitetura e engenharia.

Os estudos que aqui se apresentam englobam os conhecimentos da aplicação de telhados verdes na readequação de edificações escolares públicas, propondo a utilização desse espaço com finalidades educacionais que vão além da existência da cobertura como elemento de proteção.

Este subitem descreve algumas pesquisas mais recentes relacionadas ao assunto deste trabalho.

### 2.12.1 Comparativo de peso X custos de sistemas de Telhados verdes

As análises estabelecidas por Savi e Tavares (2013), consideraram 7 tipologias que são demonstradas na Tabela 1.

Tabela 1 - Sistemas de telhado e levantamento de custos/m<sup>2</sup>.

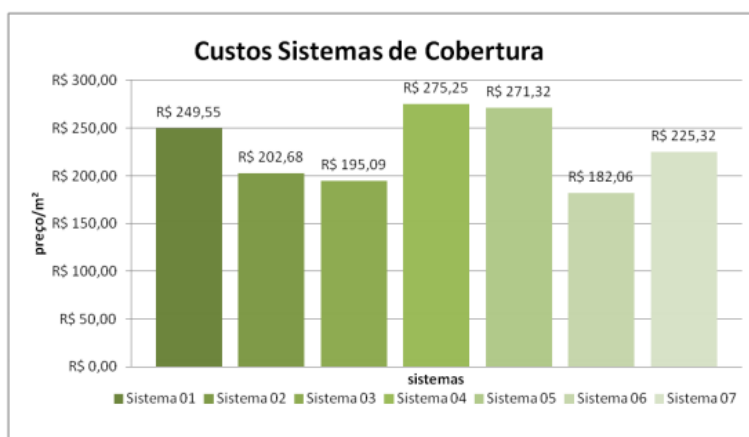
<b>SISTEMAS</b>		<b>Custo/m<sup>2</sup></b>	<b>Proporção</b>
Sistema 01	Laje pré-moldada coberta com telha cerâmica	R\$ 249,55	1,37
Sistema 02	Laje pré-moldada sombreada com argila expandida	R\$ 202,68	1,11
Sistema 03	Telhado com estrutura em madeira, telha cerâmica e forro	R\$ 195,09	1,07
Sistema 04	Telhado verde - Sistema hexa	R\$ 275,25	1,51
Sistema 05	Telhado verde - Sistema modular	R\$ 271,32	1,49
Sistema 06	Telhado verde - Sistema vernacular	R\$ 182,06	1,00
Sistema 07	Telhado verde - Sistema vernacular com laje	R\$ 225,32	1,24

Fonte: Savi e Tavares (2013).

O Gráfico 2 apresenta uma comparação direta entre os diferentes tipos de cobertura analisados, verificando a variação dos custos comparativamente a cada sistema. Para a composição de custos, foi considerada a Resolução Conjunta SEIL/DER 005/2012 vigente no ano de 2014. Procedendo a análise entre os sistemas de 04 a 07 que contemplam solução com a implantação de telhados verdes, verifica-se que a solução que apresenta maior redução de custo é a implantação de um telhado verde em sistema vernacular (sistema 06), seguido do sistema vernacular sobre laje (sistema 07).



Gráfico 2 - Análise comparativa de custos das coberturas.



Fonte: Savi e Tavares (2013).

A viabilidade na readequação de cobertura de unidades escolares estaduais só poderá ser verificada na convergência de tipologias similares ao sistema 01, que considera a pré-existência de uma laje pré-moldada coberta com telha cerâmica. Para fins desta pesquisa, sistemas que não consideram a existência de laje não são referenciais. Sendo assim, o sistema 07 – telhado verde em sistema vernacular com laje é o que mais se assemelha a proposta do presente estudo.

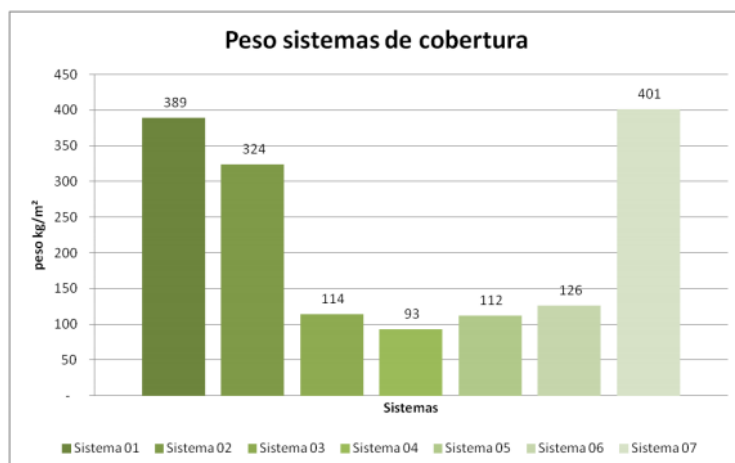
Quando comparados o sistema 01 e 07, que possuem como base uma laje pré-moldada em que no primeiro contempla uma cobertura em cerâmica e no segundo telhado verde encontramos uma redução em torno de R\$25,00/m<sup>2</sup> em favor do telhado verde.

Para analisar a viabilidade econômica das coberturas faz-se necessário verificar o peso das estruturas e para tal foi considerada a NBR 6120 – Carga para Cálculo de estrutura de edificações como também informações de fornecedores. Para fins de cálculo, foi considerado o peso específico de cada material e a capacidade máxima de absorção de água (SAVI e TAVARES, 2013).

Conforme demonstra o Gráfico 3, o sistema 04 apresenta o menor peso entre todos os sistemas. Os sistemas 03,04, 05 e 06 possuem pesos equiparados e muito baixos comparativamente aos restantes. Nos sistemas 01, 02 e 07, que utilizam a laje de concreto armado, os valores variam de

401Kg/m<sup>2</sup> a 324 kg/m<sup>2</sup>. Observa-se que os sistemas 01 e 07 apresentam pesos relativamente iguais sobre a estrutura.

Gráfico 3 - Análise comparativa da carga dos sistemas de cobertura.



Fonte: Savi e Tavares (2013).

A redução expressiva do peso do telhado verde nos sistemas sem laje armada é consequência o uso de tecnologias que reduzem a carga, como o uso de chapa de compensado estruturado e estrutura de madeira maciça certificada, como alternativa ao sistema convencional de laje (SAVI e TAVARES, 2013).

Na readequação de edificações escolares, isto não será possível, visto que o projeto original prevê a construção de laje pré-moldada, porém é um dado importante no estabelecimento de novas posturas projetuais na instituição.

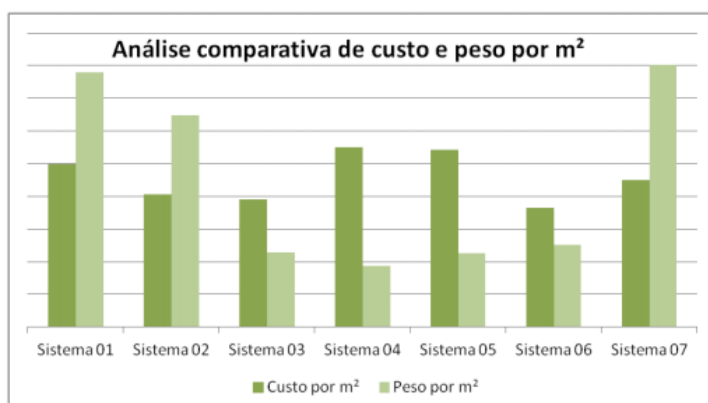


Tabela 2 - Peso sistemas de cobertura.

SISTEMAS		Peso/m <sup>2</sup>	Proporção
Sistema 01	Laje pré-moldada coberta com telha cerâmica	389	4,18
Sistema 02	Laje pré-moldada sombreada com argila expandida	324	3,48
Sistema 03	Telhado com estrutura em madeira, telha cerâmica e forro	114	1,23
Sistema 04	Telhado verde - Sistema hexa	93	1,00
Sistema 05	Telhado verde - Sistema modular	112	1,21
Sistema 06	Telhado verde - Sistema vernacular	126	1,36
Sistema 07	Telhado verde - Sistema vernacular com laje	401	4,31

Fonte: Savi e Tavares (2013).

Conforme Savi e Tavares (2013), a integração dos dados de custo e peso é necessária para entender a influência que os sistemas apresentam na infra e supraestrutura da edificação. O gráfico 4 mostra que a relação custo e peso dos sistemas construtivos não possuem variação proporcional, mas permite concluir que os sistemas 01 e 07 possuem custos e pesos similares e maiores comparativamente aos demais sistemas apresentados. Considerando que o peso do telhado verde sobre laje equipara-se ao peso do sistema de laje com telha cerâmica, esta alternativa 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.

Gráfico 4 - Análise comparativa entre custo e peso por m<sup>2</sup>.

Fonte: Savi e Tavares (2013).

### 2.12.2 Telhados verdes segundo IGRA

O *International Green Roof Association* – IGRA (2014) cita que os telhados verdes extensivos são adequados para telhados com capacidade pequena de carga e locais não destinados a jardins de cobertura. Os custos são mais baixos comparativamente ao semi-intensivo ou intensivo. A camada de substrato mineral necessita de poucos nutrientes e baixa profundidade sendo adequada a plantas menos exigentes. Os telhados verdes semi-intensivos têm maior manutenção, custos mais elevados e maior peso quando comparados aos intensivos – Quadro 5. Tem características intermediárias em comparação aos telhados intensivos e extensivos. Em telhados verdes intensivos, arbustos e árvores são possíveis como também a execução de espelhos d'água, bancos, *play grounds* e alguns equipamentos que podem ser utilizados com a implementação de recursos adicionais no telhado. Além disso, a manutenção necessária é maior comparativamente aos extensivos, podendo ser requerida irrigação permanente e fertilização.

Quadro 5 - Quadro comparativo entre tipos de telhados verdes.

Itens	Telhado verde extensivo	Telhado Verde Semi-intensivo	Telhado Verde Intensivo
Manutenção	Baixo	Periodicamente	Alto
Irrigação	Não	Periodicamente	Regularmente
Plantas	Sedum, ervas e gramíneas	Gramas, ervas e arbustos	Gramados, arbustos e árvores
Altura do sistema	60 - 200mm	120 - 250 mm	150 - 400 mm
Peso	60 - 150 Kg/m <sup>2</sup>	120 - 200 Kg/m <sup>2</sup>	180 - 500 Kg/m <sup>2</sup>
Custos	Baixo	Médio	Alto
Uso	Camada de proteção ecológica	Projetado para ser um telhado verde	Parque igual a um jardim

Fonte IGRA, 2014.

## 2.13 CONSIDERAÇÕES ACERCA DO REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico apresentado por esta revisão explicita o cenário da edificação escolar pública no Brasil e de como a sustentabilidade pode e deve estar inserida neste contexto.

Esse paradigma também é incorporado às tecnologias e aos processos relacionados à construção civil. O setor é responsável por significativos impactos ambientais e busca um melhor desempenho e reduções destes danos, por demanda social, legal e de produção.

A fim de atender a este objetivo é necessário desenvolver métodos e ferramentas para tornar as edificações mais eficientes. Neste contexto, a edificação escolar pública tem significativo papel a cumprir, visto que deve ser vista como agente disseminador de práticas a serem replicáveis a toda uma sociedade.

Os estudos acerca de telhados verdes forneceram referencial teórico substancial de como a implementação desta tecnologia pode ser uma alternativa viável na aplicação de uma técnica mais sustentável, a ser aplicada em edificações já executadas, requalificando estes espaços ou fornecendo subsídios importantes na adoção de novas posturas projetuais.

## CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA

### 3.1 DEFINIÇÃO DA ESTRATÉGIA DA PESQUISA

A pesquisa realizada apresenta uma estrutura de projeto múltiplo, com caráter exploratório e abordagem quantitativa por meio de aplicação em estudo de caso. O modelo científico de explicação adotado tem por base a concepção de Robson (2011), o qual discorre acerca dos métodos de pesquisa no mundo real.

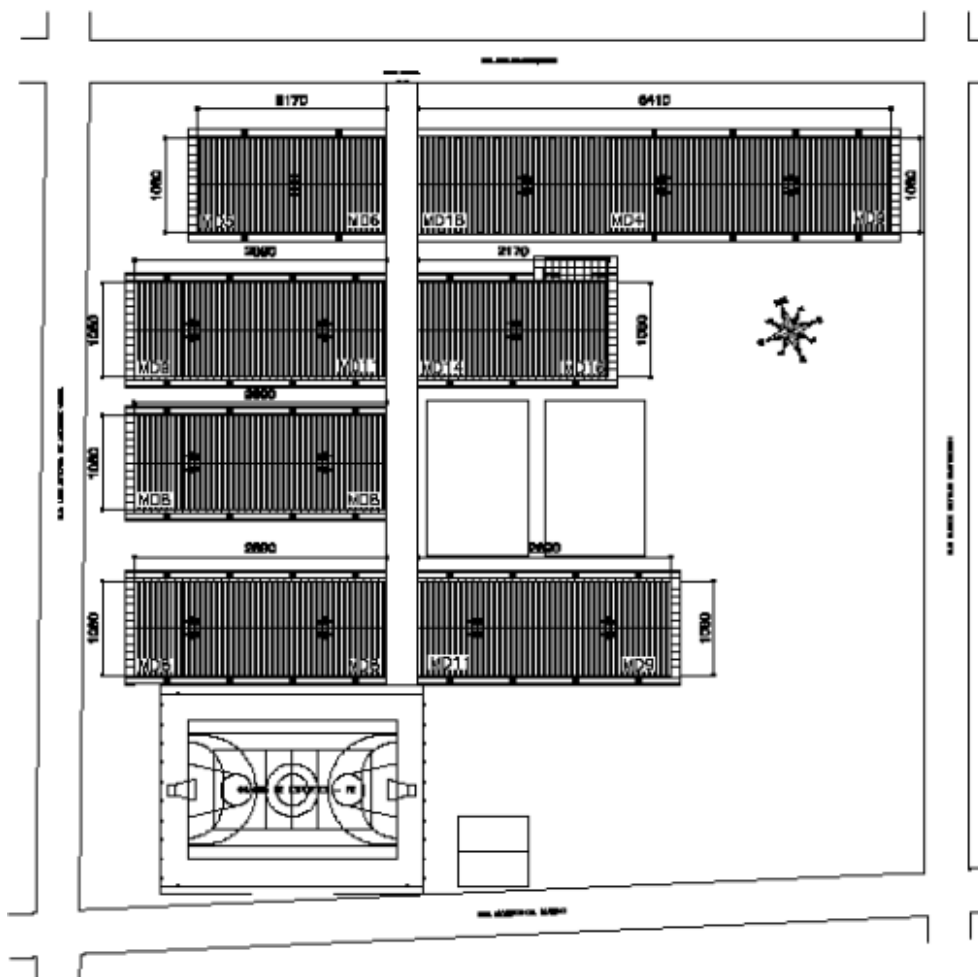
#### 3.1.1 Unidade de análise

Yin (2001) afirma que a unidade de análise está relacionada com o problema fundamental de definir o que é o “caso”.

A pesquisa destaca a utilização de telhados verdes extensivos na readequação das coberturas em substituição às originalmente concebidas.

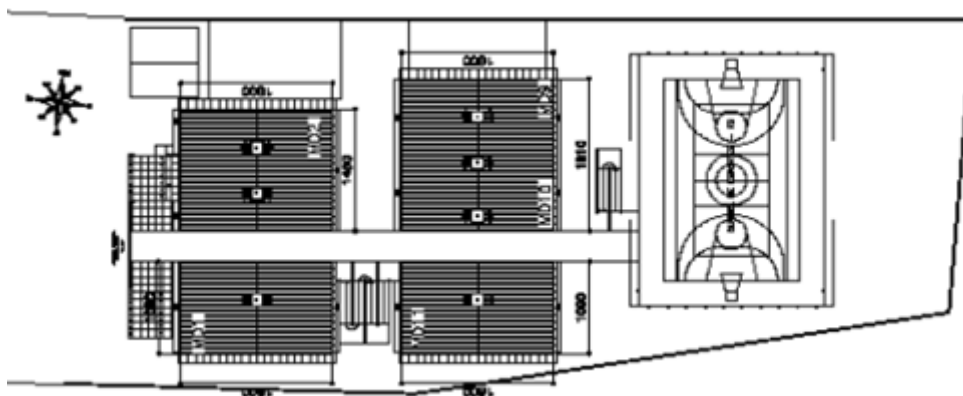
Os estudos não abrangem nenhum outro elemento arquitetônico que não seja a cobertura da edificação e contemplam especificamente escolas públicas do estado do Paraná concebidas no projeto padrão 025 (figura 18) e no projeto padrão 023 (figura 19).

Figura 18 – Planta de Cobertura do Colégio Estadual Aníbal Khury - Projeto padrão 025.



Fonte: Secretaria de Estado da Educação do Paraná (2013).

Figura 19 – Planta de Cobertura do Colégio Estadual Getúlio Vargas - Projeto padrão 023.



Fonte: Secretaria de Estado da Educação do Paraná (2013).

Projeto padrão refere-se ao conjunto de ambientes mínimos necessários à construção de uma edificação escolar, cujos elementos são compostos por módulos de dimensões semelhantes ou múltiplas entre si, que têm por objetivo serem replicáveis em várias localidades e customizados em terrenos diversos. Em 2015, eram três os padrões utilizados pelo estado, sendo: projeto padrão 023, projeto padrão 025 e projeto padrão 026.

O projeto padrão 025 é executado em único pavimento e é amplamente utilizado nas implantações de escolas urbanas e rurais de municípios e regiões distintas do estado do Paraná.

O projeto padrão 023 trata-se de um padrão executado em dois pavimentos e é amplamente utilizado nas implantações de escolas urbanas. O projeto padrão 023 e o projeto padrão 025 seguem a mesma modulação e dimensionamento, sendo estes passíveis de serem implantados em diferentes configurações. O que os difere entre si é a execução da edificação em 02 pavimentos quando da utilização do projeto padrão 023.

O padrão 026 contempla uma edificação monobloco e com limitações de implantação e customização em terrenos urbanos sendo assim excluído da presente pesquisa.

### 3.1.2 Delimitação do trabalho

Quanto mais um estudo contiver questões e proposições específicas, mais ele permanecerá dentro dos limites viáveis (YIN, 2001).

Esta pesquisa se limita a comparar a readequação das coberturas por intermédio da implementação de telhados verdes extensivos em edificações escolares, considerando os projetos padrões 025 e 023 utilizados pela Secretaria de Educação do Paraná.

### 3.1.3 Justificativa da estratégia de pesquisa

A escolha do método de pesquisa guiará os procedimentos necessários para a coleta de informações, análise destes dados e demonstração da confiabilidade e validade das descobertas (ROBSON, 2011).

Para estes estudos será 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 os serviços, os materiais e as técnicas construtivas no Paraná.

A tabela de composição de serviços de engenharia e arquitetura encontra-se disponível de forma gratuita na internet no sítio eletrônico da SEIL/DER, sendo também utilizada como referencial para outros instrumentos de composição de serviços e de custos em obras, em nível regional e nacional.

A estratégia é comparar 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 CO<sub>2</sub>. Para tal, os materiais empregados serão quantificados e convertidos para suas respectivas massas, em ambas as técnicas: original e telhado verde. Os valores totalizados serão multiplicados pelos índices de EE e CO<sub>2</sub> encontrados por Hammond e Jones (2008) e publicados pela Universidade de Bath no Inventário de carbono e energia. Os valores encontrados serão divididos pela área das edificações estudadas gerando os valores por m<sup>2</sup>, possibilitando comparativos entre os dois padrões distintos objetos do estudo de caso e verificando as eventuais contribuições na implementação de telhados verdes.

O estudo de caso levanta as evidências necessárias ao desenvolvimento das análises para o cumprimento dos objetivos estabelecidos dentro de duas amostras para a realização do estudo.

Apresenta um problema real e uma contribuição com a análise comparativa entre as técnicas selecionadas (ROBSON, 2011).

## 3.2 PROTOCOLO DE COLETA DOS DADOS

Gil (2010) comenta que o protocolo é o documento que trata de todas as decisões importantes que foram e ainda deverão ser tomadas ao longo do processo de pesquisa. O protocolo contém o instrumento, mas também contém os procedimentos e as regras gerais que deveriam ser seguidas ao utilizar o instrumento. O protocolo é uma das táticas principais para se aumentar a confiabilidade da pesquisa de estudo de caso e destina-se a orientar o pesquisador ao conduzir o estudo de caso (YIN, 2001).

### 3.2.1 Pesquisa exploratória

A pesquisa exploratória utiliza como fontes documentais periódicos, dissertações e teses sobre arquitetura escolar, sustentabilidade nas edificações, telhados verdes e aspectos térmicos relacionados às coberturas estabelecendo conexões entre esses elementos. São adquiridos em fontes que propiciem confiabilidade para o embasamento da pesquisa.

### 3.2.2 Levantamento de dados

O levantamento de dados e informações é realizado em documentos internos utilizados pela Secretaria de Estado da Educação do Estado do Paraná, com destaque para informações relacionadas diretamente ao fenômeno estudado, em assuntos afins e de interesse à readequação de edificações escolares, principalmente documentos de registro e controle de obras da Coordenadoria de Projetos (COP) e Coordenadoria de Reparos (CER) da Diretoria de Engenharia, Projetos e Orçamentos (DEPO) da instituição. Outra fonte de dados são publicações de organizações afiliadas



como Associação de Pais, Mestres e Funcionários (APMF), informações acerca do objeto em estudo junto a outras secretarias e entidades não governamentais. Paralelamente faz-se um levantamento acerca dos programas sócios educacionais contemplados entre alunos, professores e comunidade partícipe, como também possíveis fontes de recursos, especialmente àquelas provenientes do Governo Federal, via Ministério da Educação e Cultura –MEC, através da Fundação Nacional de Desenvolvimento Educacional – FNDE.

### 3.2.3 Estudo de Caso

A metodologia para a coleta de dados foi dividida em 3 partes sendo:

Parte 1: Estudo das coberturas originais do Caso A – Colégio Estadual Aníbal Khury (Projeto Padrão 025)

Parte 2: Estudo das coberturas originais do Caso B – Colégio Estadual Getúlio Vargas (Projeto Padrão 023)

Parte 3: Estudo das coberturas readequadas com a técnica de telhados verdes

#### Parte 1

A parte 1 buscou coletar os dados referente a cobertura original do Caso A, contemplando os seguintes itens:

- Caracterização dos elementos da cobertura original - Caso A;
- Determinação dos valores de Energia Embutida EE na cobertura original - Caso A;
- Determinação dos valores de CO<sub>2</sub> na cobertura original - Caso A.

A coleta de dados e informações acerca dos materiais originais das coberturas foi tabulada em planilha, baseados na tabela SEIL/DER vigente para o estado do Paraná no ano de 2015, contendo tipo do material, natureza,

quantitativos, baseados em Tavares (2006), Hammond e Jones (2008) e Lobo (2010).

Como as planilhas originais totalizam os materiais de construção em suas unidades específicas de representação e o cálculo de Energia Embutida EE e emissões de CO<sub>2</sub> são quantificados em relação as suas massas (kg), os valores quantificados foram transformados também segundo suas massas (kg).

Os valores totalizados foram resultantes da multiplicação da massa em quilogramas de cada elemento da cobertura por seus índices de EE e CO<sub>2</sub>.

## Parte 2

A parte 2 buscou coletar os dados referente a cobertura original do Caso B, contemplando os seguintes itens:

- Caracterização dos elementos da cobertura original - Caso B;
- Determinação dos valores de Energia Embutida EE na cobertura original - Caso B;
- Determinação dos valores de CO<sub>2</sub> na cobertura original - Caso B.

Semelhante a parte 1, a coleta de dados e informações acerca dos materiais originais das coberturas foi tabulada em planilha, baseados na tabela SEIL/DER vigente para o estado do Paraná no ano de 2015, contendo tipo do material, natureza, quantitativos, baseados em Tavares (2006), Hammond e Jones (2008) e Lobo (2010).

Como as planilhas originais totalizam os materiais de construção em suas unidades específicas de representação e o cálculo de Energia Embutida EE e emissões de CO<sub>2</sub> são quantificados em relação as suas massas (kg), os valores quantificados foram transformados também segundo suas massas (kg).

Os valores totalizados foram resultantes da multiplicação da massa em quilogramas de cada elemento da cobertura por seus índices de EE e CO<sub>2</sub>.

### Parte 3

A parte 3 buscou coletar os dados referente as coberturas readequadas com a técnica de telhados verdes extensivos, contemplando os seguintes itens:

- Caracterização dos elementos do telhado verde do Colégio Estadual Aníbal Khury - Caso A;
- Determinação dos valores de Energia Embutida EE para o telhado verde - Caso A;
- Determinação dos valores de CO<sub>2</sub> para o telhado verde - Caso A;
- Caracterização dos elementos do telhado verde do Colégio Estadual Getúlio Vargas - Caso B;
- Determinação dos valores de Energia Embutida EE para o telhado verde - Caso B;
- Determinação dos valores de CO<sub>2</sub> para o telhado verde - Caso B.

Foi estabelecida uma composição de telhado verde extensivo baseado em Savi (2012) e na TCPO (2013) para os itens referentes a impermeabilização. Os valores quantificados em suas unidades de referência foram transformados segundo suas massas (quilogramas) e multiplicados pela área total das coberturas estudadas. Os valores de densidade e índice de EE e CO<sub>2</sub> foram obtidos por Hammond e Jones (2008).

Com as planilhas quantificadas segundo suas massas, os coeficientes de EE e CO<sub>2</sub> foram lançados por quilograma de material, sendo desta forma totalizados os valores para a edificação.

Os valores totalizados foram divididos pela área da edificação, obtendo-se os valores referentes a execução de 1m<sup>2</sup>.

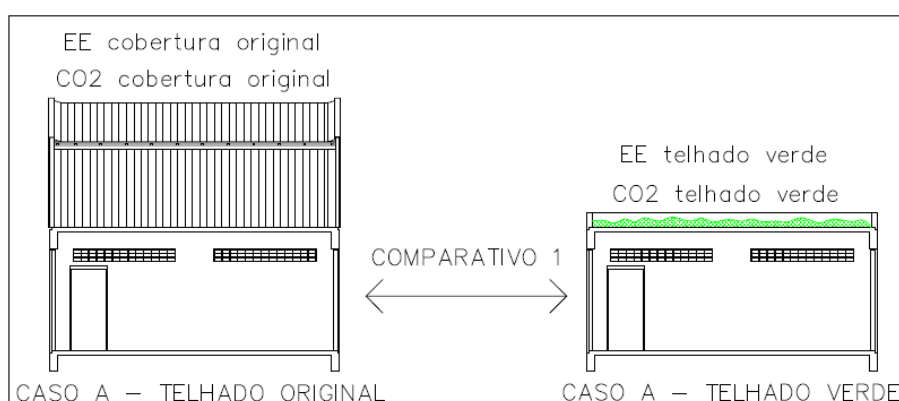
### 3.3 MÉTODO DE ANÁLISE DOS DADOS

Yin (2001) afirma que a análise dos dados consiste no exame, na categorização, na tabulação, no teste ou nas evidências recombinaadas de outra forma, para tirar conclusões baseadas empiricamente.

Os comparativos realizados consideraram a execução referente a 1m<sup>2</sup> de construção. Os casos A e B foram comparados da seguinte forma:

- Comparativo 1: Caso A cobertura original X Caso A telhado verde extensivo: Energia embutida EE e índices de emissão de CO<sub>2</sub> (Figura 20).

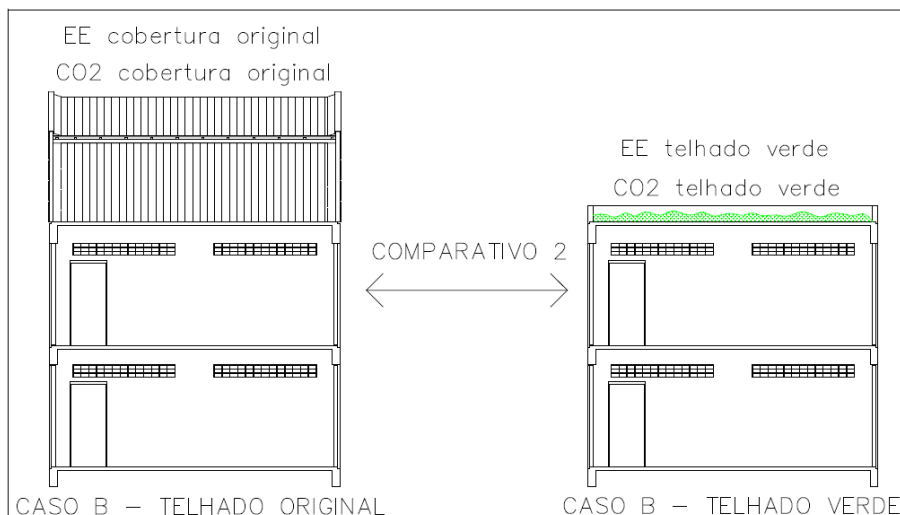
Figura 20 – Caso A telhado original X Caso A telhado verde (Projeto padrão 025).



Fonte: A autora (2015).

- Comparativo 2: Caso B cobertura original X Caso B telhado verde extensivo: Energia embutida EE e índices de emissão de CO<sub>2</sub> (Figura 21).

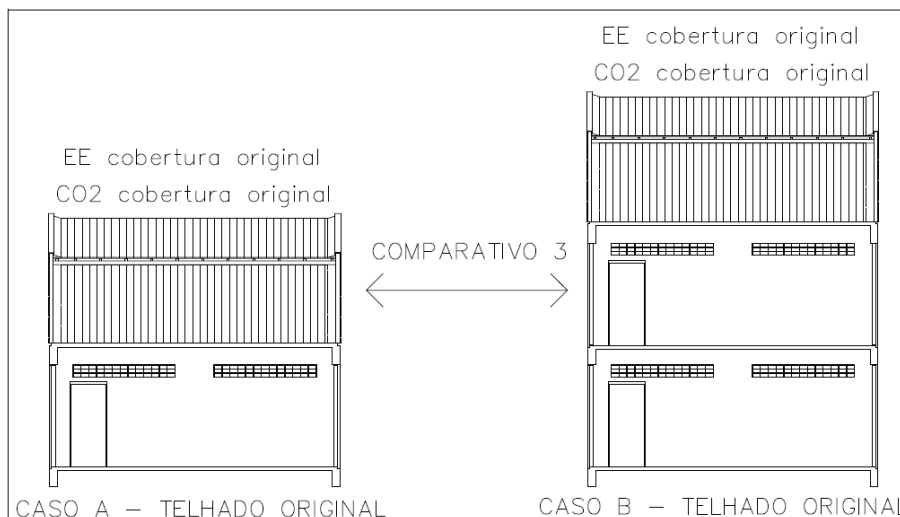
Figura 21 – Caso B telhado original X Caso B telhado verde (Projeto padrão 023).



Fonte: A autora (2015).

- Comparativo 3: Caso A cobertura original X Caso B cobertura original: Energia embutida EE e índices de emissão de CO<sub>2</sub> (Figura 22).

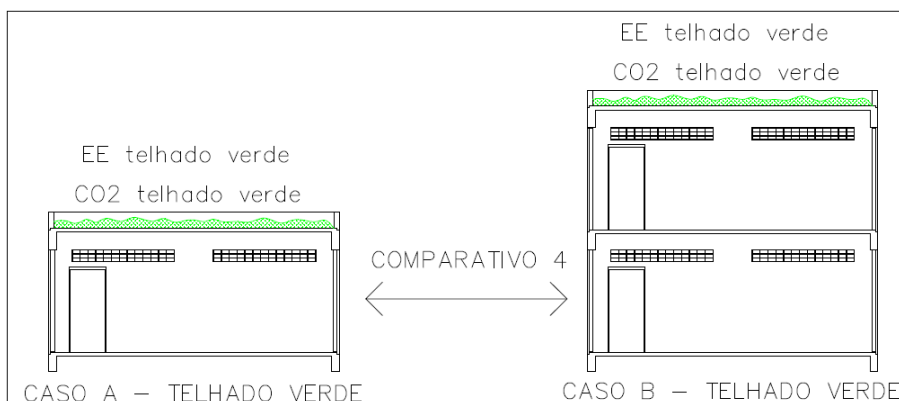
Figura 22 – Caso A telhado original (Projeto padrão 025) X Caso B telhado original (Projeto padrão 023).



Fonte: A autora (2015).

- Comparativo 4: Caso A telhado verde extensivo X Caso B telhado verde extensivo: Energia embutida EE, índices de emissão de CO<sub>2</sub> (Figura 23).

Figura 23 – Caso A telhado verde (Projeto padrão 025) X Caso B telhado verde (Projeto padrão 023).



Fonte: A autora (2015).

As informações foram tabuladas em planilhas e originaram gráficos elucidando as comparações realizadas entre os dados gerados, que seguiram os seguintes critérios:

- Critério 1: Tabulação dos dados referentes a cobertura original do Caso A e Caso B multiplicado pelos índices de EE e CO<sub>2</sub> referente a cada material e conforme a literatura citada;
- Critério 2: Tabulação dos dados referentes a cobertura vegetal extensiva proposta para os Casos A e B, multiplicado pelos índices de EE e CO<sub>2</sub> referente a cada material e conforme a literatura citada;

### 3.4 TESTE DE VALIDADE

Robson (2011) afirma que a questão central da abordagem científica de uma pesquisa está na avaliação cética das suas descobertas e interpretações. Em outras palavras, um trabalho científico, para ser considerado pela comunidade científica como válido, deve apresentar como características validade do constructo, validade interna, validade externa e confiabilidade.

### 3.4.1 Validade do constructo

Robson (2011) relata que a complexidade em se determinar a validade do constructo pode levar a uma concentração insalubre desse aspecto da realização de um projeto de pesquisa. Para muitos estudos, há uma razoabilidade intuitiva de acertos que certamente aproximam a providência de uma medida apropriada. Qualquer forma de medir ou coletar dados é suscetível de ter suas falhas.

Yin (2010) acrescenta que para preencher o teste de validade do constructo, o pesquisador deve garantir que dois passos sejam cobertos:

- definir a mudança em termos de conceitos específicos (e relacioná-los aos objetivos originais do estudo) e
- identificar as medidas operacionais que combinam os conceitos (preferencialmente citando os estudos publicados que fazem as mesmas combinações).

A presente pesquisa assegura validação de duas formas: pesquisa exploratória e do estudo de caso. Na pesquisa exploratória procura-se elementos junto à literatura disponível, procurando fontes múltiplas de evidências na busca de linhas convergentes de investigação. Estas fontes são a análise de artigos científicos, pesquisas que se assemelham ao tema pesquisado e dados coletados. No estudo de caso são validados os achados na pesquisa exploratória. A cobertura original e o telhado verde extensivo proposto poderão ser comparados aos achados originados da coleta de dados.

### 3.4.2 Validade interna

Se o estudo pode plausivelmente demonstrar as relações causais entre tratamento e resultado, isto se refere a ter validade interna (ROBSON, 2011).

A validade interna desta pesquisa é garantida por meio do estudo exploratório, baseando-se em evidências documentais e sequencialmente selecionando duas amostras para o estudo de caso, comprovando as hipóteses. O resultado determina a viabilidade da implantação de telhados verdes extensivos na readequação de coberturas de escolas públicas e na concepção de diretrizes para a concepção de projetos arquitetônicos escolares.

#### 3.4.3 Validade externa

A validade externa pode ser obtida em um estudo onde o grupo estudado, o contexto ou período, é representativo, e quando o objetivo central da pesquisa é estabelecer uma proposição ou teoria científica (ROBSON, 2011).

Esta pesquisa compara 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 CO<sub>2</sub> e busca estabelecer relações aos estudos científicos previamente abordados, mantendo a generalização analítica dos estudos em questão e possibilitando a replicação e reprodução da metodologia estabelecida em projetos similares. A validade externa pode ser verificada ao replicar o método em outras escolas concebidas nos mesmos moldes, visto tratar-se de um projeto padrão, modular e replicável em todo o Estado do Paraná.

#### 3.4.4 Confiabilidade

Yin (2010) comenta que o objetivo é garantir que, se um pesquisador, posteriormente, seguir o mesmo procedimento, conforme descrito pelo primeiro, e conduzir o mesmo estudo novamente, ele deverá obter os mesmos



achados e conclusões. A meta da confiabilidade é minimizar os erros e as parcialidades do estudo.

Esta pesquisa buscará permitir a confiabilidade e rastreabilidade dos estudos em questão pelo estabelecimento de um protocolo de coleta de dados para a pesquisa, produzindo uma documentação detalhada e descritiva paralelamente à construção da base de dados deste estudo.

## CAPÍTULO 4 – ESTUDO DE CASO

O conhecimento dos aspectos pedagógicos do ambiente escolar e sua compatibilização aos anseios e necessidades da comunidade adjacente, possibilita ao arquiteto proporcionar espaços mais sustentáveis e alinhados a planos de ensino que se utilizem desses espaços no processo educativo.

Para esta proposta, a readequação das coberturas utilizando telhados verdes extensivos vem complementar e materializar o ideário de sustentabilidade verbalizado nas salas de aula das escolas públicas do estado.

Os edifícios objetos dos estudos de caso em questão não foram submetidos a nenhum processo de readequação ou reformas. Não houve mudanças de perfil dos usuários tampouco alterações vocacionais na tipologia de edificação escolar adotada.

Para a proposta de readequação com a técnica de telhados verdes extensivos em substituição das coberturas originais dos colégios estaduais do Paraná, foi proposta a análise de dois padrões amplamente utilizados na implantação arquitetônica de edificações escolares: o projeto padrão 023 e o projeto padrão 025, que serão estudados a seguir.

Para fins deste estudo de caso, a passarela coberta e a quadra poliesportiva foram desconsideradas, visto serem executadas em técnica construtiva diferente das demais edificações modulares. Trata-se de elementos arquitetônicos projetados sem laje de cobertura e por isso deverão ser submetidos à outra técnica executiva de telhados verdes.

Outro item excluído desta pesquisa é a casa do caseiro, já que é executada em um número reduzido de escolas.

Quanto à laje, apesar de tratar-se de um componente estrutural da cobertura, não será quantificada e seus índices de Energia Embutida e emissão de CO<sub>2</sub> não serão considerados. A justificativa é a de que qualquer

alternativa de readequação aplicada manterá a laje, sendo inviável sua remoção ou substituição por outro elemento.

Os casos aqui apresentados seguem a seguinte sistematização:

- 4.1 ESTUDO DAS COBERTURAS ORIGINAIS DO CASO A – COLÉGIO ESTADUAL ANÍBAL KHURY (PROJETO PADRÃO 025)
  - 4.1.1 Caracterização dos elementos da cobertura original - Caso A
  - 4.1.2 Determinação dos valores de Energia Embutida EE na cobertura original -Caso A
  - 4.1.3 Determinação dos valores de CO<sub>2</sub> na cobertura original - Caso A
- 4.2 ESTUDO DAS COBERTURAS ORIGINAIS DO CASO B – COLÉGIO ESTADUAL GETÚLIO VARGAS (PROJETO PADRÃO 023)
  - 4.2.1 Caracterização dos elementos da cobertura original - Caso B
  - 4.2.2 Determinação dos valores de Energia Embutida EE na cobertura original -Caso B
  - 4.2.3 Determinação dos valores de CO<sub>2</sub> na cobertura original - Caso B
- 4.3 ESTUDO DAS COBERTURAS READEQUADAS COM A TÉCNICA DE TELHADOS VERDES
  - 4.3.1 Caracterização dos elementos do telhado verde do Colégio Estadual Aníbal Khury - Caso A
    - 4.3.1.1 Determinação dos valores de Energia Embutida EE para o telhado verde - Caso A
    - 4.3.1.2 Determinação dos valores de CO<sub>2</sub> para o telhado verde - Caso A
  - 4.3.2 Caracterização dos elementos do telhado verde do Colégio Estadual Getúlio Vargas - Caso B
    - 4.3.2.1 Determinação dos valores de Energia Embutida EE para o telhado verde - Caso B
    - 4.3.2.2 Determinação dos valores de CO<sub>2</sub> para o telhado verde - Caso B

#### 4.1 ESTUDO DAS COBERTURAS ORIGINAIS DO CASO A – COLÉGIO ESTADUAL ANÍBAL KHURY (PROJETO PADRÃO 025)

O projeto do Colégio Estadual Aníbal Khury localizado no bairro Uberaba, município de Curitiba (Figura 24), teve sua implantação concebida no padrão intitulado 025. Por ser executado em um único pavimento atende amplamente a NBR 9050 que versa sobre a acessibilidade arquitetônica dos ambientes, sem a necessidade da construção de elementos de acesso verticais, integrando usuários com ou sem deficiência aos espaços acessíveis dentro do conceito de desenho universal.

Figura 24 - Localização Colégio Estadual Aníbal Khury, município de Curitiba.



Fonte: Google Maps® (2015).

O Colégio é composto pelos seguintes módulos: administrativo, biblioteca, laboratório de informática, laboratório de ciências, sanitários masculino e feminino, 17 salas de aula, refeitório e pátio coberto (Figura 25).

O módulo administrativo atende às funções gerenciais do colégio. Tem como usuários alunos, profissionais e comunidade escolar. É composto pelos seguintes ambientes: secretaria, diretoria, coordenação, orientação, almoxarifado, sala de professores, sanitários masculino e feminino e circulação.

O módulo biblioteca atende a funções pedagógicas internas do colégio e também atividades de apoio à comunidade. O espaço da biblioteca é frequentado por usuários externos e simultaneamente atendem a projetos sociais e atividades socioculturais realizadas no contra turno, bem como programas específicos de governos estaduais e federais.

O módulo laboratório de informática atende aos alunos em sua matriz curricular obrigatória, atividades de contra turno, oferta de cursos a comunidade e capacitação de jovens e adultos.

O módulo laboratório de ciências atende aos alunos matriculados e especificamente séries finais do ensino fundamental, ensino médio e ensino técnico profissionalizante.

Quanto às salas de aula, elas são projetadas para atender a uma população máxima de 40 alunos e atendem integralmente a resolução SESA 318/2002 que estabelece itens mínimos de atendimento para a elaboração de projetos de arquitetura escolar no estado do Paraná. Para a implantação do Colégio Estadual Aníbal Khury o programa de atendimento foi de 17 salas de aula no total, sendo atendido através do módulo 08 (02 sala de aula) e a repetição tripla do módulo 09 (03 salas de aula), atendendo a demanda prevista para o ano letivo.

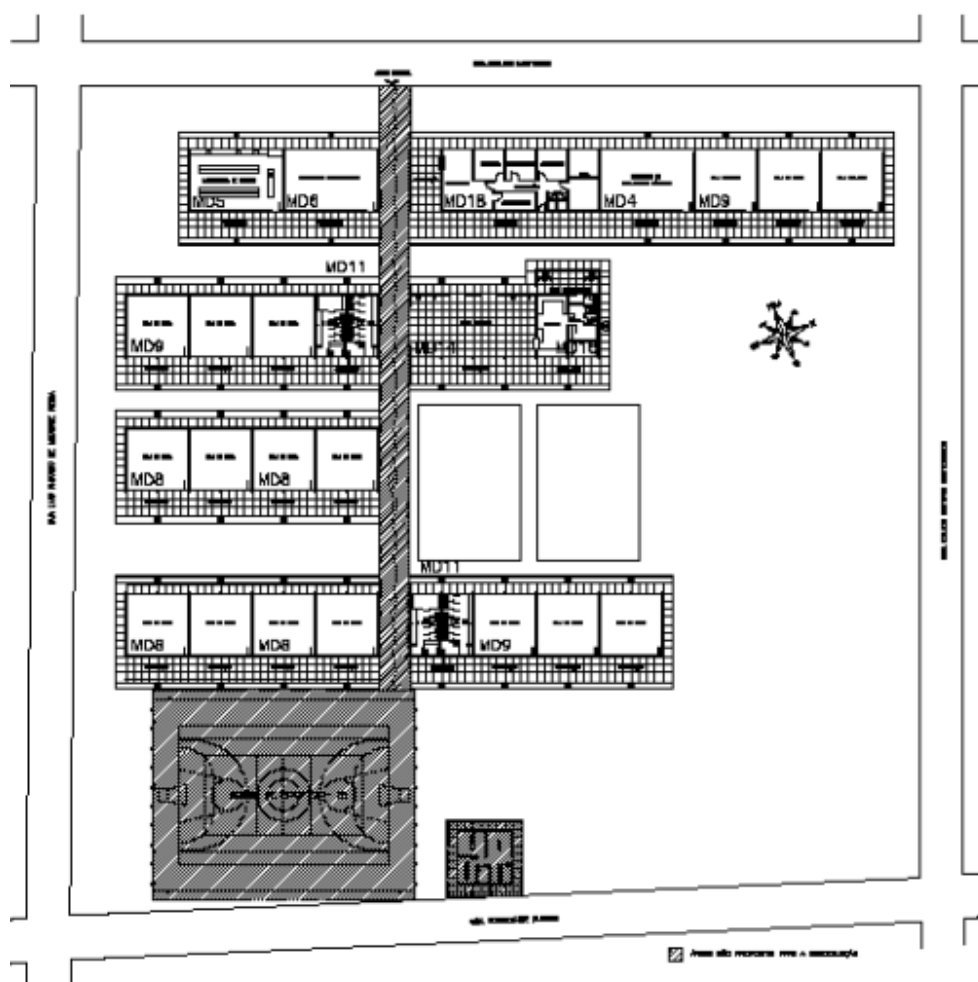
O módulo de sanitários é composto por 06 compartimentos no banheiro feminino e 04 compartimentos no banheiro masculino com calha mictório bilateral. Também contempla banheiro acessível para ambos os gêneros e depósito de material de limpeza.

O pátio coberto não é projetado somente como local abrigado para os alunos no momento dos intervalos, mas principalmente como refeitório. Normalmente são equipados com mesas destinadas às refeições, desde merendas simples até refeições completas. Também são utilizados como

espaços de uso múltiplo para atividades artísticas e culturais e em muitas ocasiões são espaços de reuniões comunitárias.

O refeitório é composto de cozinha, despensa, depósito de materiais de limpeza, sanitário para funcionários e circulação. A parte externa contempla um espaço externo composto de abrigo de resíduos e central de GLP, cuja determinação de localização e dimensionamento se enquadram no código de prevenção de incêndios vigentes para o estado do Paraná.

Figura 25 – Implantação arquitetônica do Colégio Estadual Aníbal Khury - Projeto padrão 025.



Fonte: Secretaria de Estado da Educação do Paraná (2013).

#### 4.1.1 Caracterização dos elementos da cobertura original - Caso A

As quantidades estabelecidas em cada um dos módulos que compõe a implantação do colégio foram compiladas e originaram o Quadro 6, contendo os valores totais dos materiais empregados na construção da cobertura da edificação (Figura 24).

Quadro 6 - Quantitativo dos materiais da cobertura original do Colégio Estadual Aníbal Khury (padrão 025).

<b>Quantitativo total dos módulos CE Anibal Khury</b>	<b>Un.</b>	<b>Total</b>
Estrutura metálica em aço estrutural perfil C 50-150X25-50X3,04mm-3/16"	Kg	<b>22.635,19</b>
Ripa 1"X2" pinus/cambará serrada 1 qualidade não aparelhada - fornecimento e assentamento	m	<b>8.794,58</b>
Caibro 1"X6" pinus/cambará serrada 1 qualidade não aparelhada - fornecimento e assentamento	m	<b>1.983,63</b>
Caibro 2"X6" pinus/cambará serrada 1 qualidade não aparelhada - fornecimento e assentamento	m	<b>1.983,63</b>
Imunização de madeiramento para cobertura utilizando cupinicida incolor	m <sup>2</sup>	<b>2.434,61</b>
Fundo preparador primer a base de epóxi, para estrutura metálica, uma demão, espessura de 25 micra.	m <sup>2</sup>	<b>1.215,59</b>
Cobertura em telha cerâmica tipo francesa ou marselha, excluindo madeiramento	m <sup>2</sup>	<b>2.743,11</b>
Cumeeira com telha cerâmica emboçada com argamassa traço 1:2:8 (cimento, cal hidratada e areia)	m	<b>223,50</b>
Rufo chapa ferro galvanizado nº 26, corte 50cm - fornecimento e instalação	m	<b>330,88</b>
Pintura tinta fosfatizante 2 demãos, em F°G°	m <sup>2</sup>	<b>289,52</b>
Pintura tinta grafite esmalte protetora de superfície metálica 2 demãos - fornecimento e execução.	m <sup>2</sup>	<b>289,52</b>

Fonte: A autora (2015).

Para o cálculo da energia embutida e determinação de valores de CO<sub>2</sub> é necessário determinar as massas em todos os materiais empregados na cobertura original. Isto é executado a partir do cálculo do volume multiplicado pela densidade do material e multiplicado pela área da cobertura objeto do estudo. Os valores referentes a densidade do material foram obtidos a partir de Hammond e Jones (2008). Os materiais foram tabulados de acordo com sua

natureza e divididos em quatro categorias: madeiras, tintas, cerâmicas e metais.

### a) Madeira

As madeiras foram divididas em duas categorias básicas: madeiras de obra e madeiras de esquadrias. Esta pesquisa delimita-se a estudar os fenômenos relacionados a telhados, por isso somente madeiras de obras serão consideradas.

Hammond e Jones (2008) comentam que os dados referentes a madeiras são particularmente difíceis de serem selecionados, apresentando um material com distintas aplicações técnicas de beneficiamento. Apresentam valores de Energia Embutida variáveis entre 0,72 e 16MJ/Kg e densidade de 600Kg/m<sup>3</sup> (Tabela 3).

Tabela 3 - Determinação das massas das madeiras utilizadas na cobertura do Colégio Estadual Aníbal Khury (padrão 025).

Madeiras	Qtde. (m)	Larg. (in)	Espess. (in)	Larg. (m)	Espess. (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	Densid. (kg/m <sup>3</sup> )	Massa (Kg)
Ripa 1"X2" pinus/cambará serrada 1 qualidade não aparelhada - fornecimento e assentamento	8.794,58	2,00	1,00	0,05080	0,02540	11,34782	600	<b>6.808,69</b>
Caibro 1"X6" pinus/cambará serrada 1 qualidade não aparelhada - fornecimento e assentamento	1.983,63	6,00	1,00	0,15240	0,02540	7,67855	600	<b>4.607,13</b>
Caibro 2"X6" pinus/cambará serrada 1 qualidade não aparelhada - fornecimento e assentamento	1.983,63	6,00	2,00	0,15240	0,05080	15,35710	600	<b>9.214,26</b>

Fonte: A autora (2015).

### b) Tintas

Imunização, fundo preparador e tintas envolvidas na planilha SEIL/DER tem valores de densidades diferentes entre si e foram obtidos junto a descritivos técnicos de fabricantes e foram estabelecidos conforme o quadro 7 e resulta nos valores da tabela 4.



Quadro 7 - Determinação das densidades para cálculo das tintas utilizadas na cobertura do Colégio Estadual Aníbal Khury (padrão 025).

Tintas	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )
Imunização de madeiramento para cobertura utilizando cupinicida incolor	800 <sup>(1)</sup>
Fundo preparador primer a base de epóxi, para estrutura metálica, uma demão, espessura de 25 micra.	1170 <sup>(1)</sup>
Pintura tinta fosfatizante 2 demãos, em F°G°	910 <sup>(1)</sup>
Pintura tinta grafite esmalte protetora de superfície metálica 2 demãos - fornecimento e execução.	1100 <sup>(1)</sup>

(1) Pesquisa própria com dados fornecidos junto aos fabricantes.

Fonte: A autora (2015).

Tabela 4 - Determinação das massas das tintas utilizadas na cobertura do Colégio Estadual Aníbal Khury (padrão 025).

Tintas	Qtde. (m <sup>2</sup> )	Rendim. (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	Demão	Volume (m <sup>3</sup> )	Densid. (kg/m <sup>3</sup> )	Massa (kg)
Imunização de madeiramento para cobertura utilizando cupinicida incolor	2.434,61	0,00025	1	0,608653	800	<b>486,92</b>
Fundo preparador primer a base de epóxi, para estrutura metálica, uma demão, espessura de 25 micra.	1.215,59	0,00006	1	0,072935	1170	<b>85,33</b>
Pintura tinta fosfatizante 2 demãos, em F°G°	289,52	0,00008	2	0,046323	910	<b>42,15</b>
Pintura tinta grafite esmalte protetora de superfície metálica 2 demãos - fornecimento e execução.	289,52	0,00005	2	0,028952	1100	<b>31,85</b>

Fonte: A autora (2015).

### c) Telhas cerâmicas

Grigoletti e Sattler (2003) comentam que o processo produtivo de tijolos, blocos e telhas cerâmicas é formado basicamente por três etapas: preparação, conformação e queima. Em cada uma dessas fases, insumos como matéria-prima e energia são empregados, recursos humanos são necessários e resíduos são gerados e lançados ao ambiente. A preparação compreende a extração da matéria-prima (argila) e a preparação desta (mistura e homogeneização) para a próxima etapa, a conformação.

Esse processo é realizado manualmente ou com o uso de equipamentos. A conformação envolve a moldagem da matéria-prima na forma desejada (tijolos, blocos ou telhas) por meio mecânico. Após a conformação, as peças são submetidas à secagem natural ou artificial (com o uso de estufas) e,

finalmente, encaminhadas para a queima. Esta é feita em fornos de uso contínuo e intermitente.

Conforme Quadro 6 originado a partir da tabela SEIL/DER, telha cerâmica é quantificada na unidade  $m^2$  e cumeeiras em metros lineares. A Tabela 5 quantifica esses dois elementos em relação as suas respectivas massas em Kg.

Tabela 5 - Determinação das massas das cerâmicas utilizadas na cobertura do Colégio Estadual Aníbal Khury (padrão 025).

Cerâmicas (cobertura)	Un	quantidade	Pçs/m <sup>2</sup> ou Pçs/m	Kg/pç	Massa (kg)
Cobertura em telha cerâmica tipo francesa ou marselha, excluindo madeiramento	m <sup>2</sup>	2.743,61	17	2,6	<b>121.267,56</b>
Cumeeira com telha cerâmica emboçada com argamassa traço 1:2:8 (cimento, cal hidratada e areia)	m	223,50	3,5	2,6	<b>2.033,85</b>

Fonte: A autora (2015).

#### d) Metais

A determinação da massa para a estrutura metálica já é quantificada na planilha SEIL/DER em Kg e em virtude disso não necessitou de conversão, tendo como massa o valor de 22.635,19 kg para uma área de cobertura de 2.743,61m<sup>2</sup> e 1.911,60 m<sup>2</sup> de projeção da edificação. Para a determinação da massa do rufo em chapa de ferro galvanizado foi utilizado o valor de densidade de 7.800 Kg/m<sup>3</sup>.

Tabela 6 - Determinação das massas dos metais utilizados na cobertura do Colégio Estadual Aníbal Khury (padrão 025).

Metal	Un.	Qtde.	Largura (m)	Espess. (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	Densid. (Kg/m <sup>3</sup> )	Massa (Kg)
Estrutura metálica em aço estrutural perfil C 50-150X25-50X3,04mm-3/16"	Kg	22.635,19					<b>22.635,19</b>
Rufo chapa ferro galvanizado nº 26, corte 50cm	m	330,88	0,50	0,00	0,06	7800	<b>443,59</b>

Fonte: A autora (2015).

As massas quantificadas para a cobertura original do Caso A serão analisadas através de comparativos no capítulo 5.

#### 4.1.2 Determinação dos valores de Energia Embutida EE na cobertura original - Caso A

Tavares (2006), Hammond e Jones (2008) e Lobo (2010) consideram as massas dos materiais de construção para os cálculos. O cálculo dos materiais da composição foi transformado para a mesma unidade em quilogramas (Quadro 8).

Quadro 8 - Determinação das massas dos componentes da cobertura do Colégio Estadual Aníbal Khury (padrão 025).

Quantitativo total dos módulos	Massa (Kg)
Estrutura metálica em aço estrutural perfil C 50-150X25-50X3,04mm-3/16"	22.635,19
Ripa 1"X2" pinus/cambará serrada 1 qualidade não aparelhada	6.808,69
Caibro 1"X6" pinus/cambará serrada 1 qualidade não aparelhada	4.607,13
Caibro 2"X6" pinus/cambará serrada 1 qualidade não aparelhada	9.214,26
Imunização de madeiramento para cobertura utilizando cupinicida incolor	486,92
Fundo preparador primer a base de epóxi, para estrutura metálica, uma demão, espessura de 25 micra.	85,33
Cobertura em telha cerâmica tipo francesa ou marselha, excluindo madeiramento	121.267,56
Cumeeira com telha cerâmica emboçada com argamassa traço 1:2:8 (cimento, cal hidratada e areia)	2.033,85
Rufo chapa ferro galvanizado nº 26, corte 50cm	443,59
Pintura tinta fosfatizante 2 demãos, em F°G°	42,15
Pintura tinta grafite esmalte protetora de superfície metálica 2 demãos	31,85

Fonte: A autora (2015).

Para o cálculo da EE foram considerados os índices levantados por Hammond e Jones (2008). Os valores resultam da multiplicação dos índices EE (MJ) do material pela massa (Kg), onde é possível quantificar os valores totais

de EE por material empregado na composição da cobertura, conforme equação a seguir.

$EE_{total} = EE_{material} \times Massa$ , onde:

$EE_{total}$  = energia embutida total do material empregado na construção em MJ;

$EE_{material}$  = energia embutida do material em MJ/Kg (HAMMOND e JONES, 2008);

Massa = massa total do material empregado na construção em Kg.

Tabela 7 - Cálculo da Energia Embutida EE total envolvida na execução do Colégio Estadual Aníbal Khury (padrão 025).

Quantitativo energia embutida EE Colégio Estadual Anibal Khury	Massa (kg)	EE material (MJ/Kg)	EE total (MJ)	EEtotal (MJ/m <sup>2</sup> )
Estrutura metálica em aço estrutural perfil C 50-150X25-50X3,04mm-3/16"	22.635,19	36,80	832.974,99	435,75
Ripa 1"X2" pinus/cambará serrada 1 qualidade não aparelhada - fornecimento e assentamento	6.808,69	0,72	4.902,26	2,56
Caibro 1"X6" pinus/cambará serrada 1 qualidade não aparelhada - fornecimento e assentamento	4.607,13	0,72	3.317,13	1,74
Caibro 2"X6" pinus/cambará serrada 1 qualidade não aparelhada - fornecimento e assentamento	9.214,26	0,72	6.634,27	3,47
Imunização de madeiramento para cobertura utilizando cupinicida incolor	486,92	50,00	24.346,10	12,74
Fundo preparador primer a base de epóxi, para estrutura metálica, uma demão, espessura de 25 micra.	85,33	139,32	11.888,79	6,22
Cobertura em telha cerâmica tipo francesa ou marselha, excluindo madeiramento	121.267,56	9,00	1.091.408,06	570,94
Cumeeira com telha cerâmica emboçada com argamassa traço 1:2:8 (cimento, cal hidratada e areia)	2.033,85	9,00	18.304,65	9,58
Rufo chapa ferro galvanizado nº 26, corte 50cm - fornecimento e instalação	443,59	39,00	17.299,85	9,05
Pintura tinta fosfatizante 2 demãos, em F°G°	42,15	68,00	2.866,48	1,50
Pintura tinta grafite esmalte protetora de superfície metálica 2 demãos - fornecimento e execução.	31,85	68,00	2.165,61	1,13
<b>EE total</b>			<b>2.016.108,20</b>	<b>1.054,67</b>

Fonte: A autora (2015).

Na tabela 7 tem-se o resultado que considera a área total de implantação da edificação de 1.911,60m<sup>2</sup> e um total de Energia Embutida de 2.016,11GJ, obtendo-se o valor de 1,05GJ/ m<sup>2</sup> de construção.

#### 4.1.3 Determinação dos valores de CO<sub>2</sub> na cobertura original - Caso A

Para o cálculo das emissões de CO<sub>2</sub> foram considerados os índices levantados por Hammond e Jones (2008). Os valores resultam da multiplicação dos índices de CO<sub>2</sub> (Kg) do material pela massa (Kg), onde é possível quantificar os valores totais de CO<sub>2</sub> por material empregado na composição da cobertura, conforme equação a seguir.

$$CO_2 \text{ total} = CO_2 \text{ material} \times \text{Massa}$$

onde:

CO<sub>2</sub> total = total em emissões de CO<sub>2</sub> do material empregado na construção em Kg;

CO<sub>2</sub> material = índice de CO<sub>2</sub> do material em MJ/Kg (HAMMOND e JONES, 2008);

Massa = massa total do material empregado na construção em Kg.

Os valores das massas seguem os valores previamente encontrados para o cálculo da Energia Embutida EE.

Tabela 8 - Cálculo do CO<sub>2</sub> total envolvido na execução do Colégio Estadual Aníbal Khury (padrão 025).

Quantitativo CO <sub>2</sub> Colégio Estadual Aníbal Khury	Massa (kg)	CO <sub>2</sub> material (Kg)	CO <sub>2</sub> total (Kg)	CO <sub>2</sub> total (Kg/m <sup>2</sup> )
Estrutura metálica em aço estrutural perfil C 50-150X25-50X3,04mm-3/16"	22.635,19	2,78	62.925,83	32,92
Ripa 1"X2" pinus/cambará serrada 1 qualidade não aparelhada - fornecimento e assentamento	6.808,69	0,45	3.063,91	1,60
Caibro 1"X6" pinus/cambará serrada 1 qualidade não aparelhada - fornecimento e assentamento	4.607,13	0,45	2.073,21	1,08
Caibro 2"X6" pinus/cambará serrada 1 qualidade não aparelhada - fornecimento e assentamento	9.214,26	0,45	4.146,42	2,17
Imunização de madeiramento para cobertura utilizando cupinicida incolor	486,92	5,35	2.605,03	1,36
Fundo preparador primer a base de epóxi, para estrutura metálica, uma demão, espessura de 25 micra.	85,33	5,91	504,33	0,26
Cobertura em telha cerâmica tipo francesa ou marseilha, excluindo madeiramento	121.267,56	0,59	71.547,86	37,43
Cumeeira com telha cerâmica emboçada com argamassa traço 1:2:8 (cimento, cal hidratada e areia)	2.033,85	0,59	1.199,97	0,63
Rufo chapa ferro galvanizado nº 26, corte 50cm - fornecimento e instalação	443,59	2,82	1.250,91	0,65
Pintura tinta fosfatizante 2 demãos, em F°G°	42,15	3,56	150,07	0,08
Pintura tinta grafite esmalte protetora de superfície metálica 2 demãos - fornecimento e execução.	31,85	3,56	113,38	0,06
<b>CO<sub>2</sub> total</b>			<b>149.580,92</b>	<b>78,25</b>

Fonte: A autora (2015).

Na tabela 8 tem-se o resultado que considera a área total de implantação da edificação de 1.911,60m<sup>2</sup> e um total de emissão de CO<sub>2</sub> de 149.580,92Kg obtendo-se o valor de 78,25Kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> de construção.

#### 4.2 ESTUDO DAS COBERTURAS ORIGINAIS DO CASO B – COLÉGIO ESTADUAL GETÚLIO VARGAS (PROJETO PADRÃO 023)

O projeto do Colégio Estadual Getúlio Vargas localizado no bairro Cachoeira, município de Curitiba (figura 26), teve sua implantação concebida no padrão intitulado 023. Possibilita sua execução em terrenos de menores dimensões comparativamente ao projeto padrão 025 que é executado em um único pavimento e requer áreas maiores. Atende as questões de acessibilidade através de elevador, porém o acesso vertical dos demais alunos é realizado por meio de escadas. Rampas e escadas são implantadas entre os blocos devido às diferenças topográficas existentes no terreno.

Figura 26 – Localização do Colégio Estadual Getúlio Vargas, município de Curitiba.



Fonte: Google Maps® (2015).

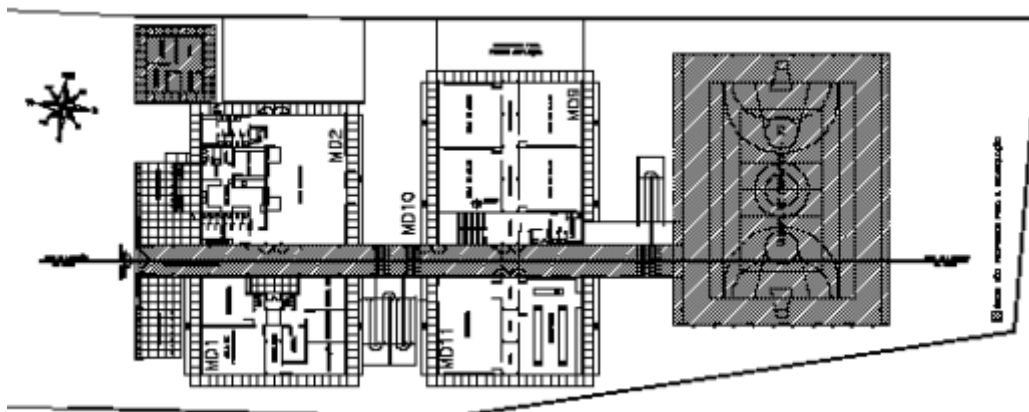
O Colégio é composto pelos seguintes módulos: administrativo, biblioteca, sala de múltiplo uso, laboratório de informática, laboratório de ciências, sanitários masculino e feminino, 08 salas de aula, refeitório e pátio coberto (Figura 27).

Os módulos do projeto padrão 023 são compostos pelas mesmas configurações presentes no projeto 025. Os ambientes seguem o mesmo dimensionamento com especificação de materiais similares. Os blocos administrativo e refeitório com pátio coberto são executados em um único pavimento. Os demais ambientes são compostos da seguinte forma:

Primeiro pavimento: biblioteca, laboratório de ciências, 04 salas de aula, sanitário masculino e escada;

Segundo pavimento: sala de uso múltiplo, laboratório de informática, 04 salas de aula e sanitário feminino.

Figura 27 – Implantação arquitetônica do Colégio Estadual Getúlio Vargas - Projeto padrão 023.



Fonte: Secretaria de Estado da Educação do Paraná (2013).

#### 4.2.1 Caracterização dos elementos da cobertura original - Caso B

A cobertura do projeto padrão 023 contempla um zenital que será mantido obedecendo ao partido arquitetônico do projeto original, preservando a iluminação natural e ventilação cruzada oriunda deste elemento. As quantidades estabelecidas em cada um dos módulos que compõe a implantação do colégio foram compiladas e originaram o Quadro 09, com os valores totais dos materiais empregados na construção da cobertura da edificação.



Quadro 9 - Quantitativo dos materiais da cobertura original do Colégio Estadual Getúlio Vargas (padrão 023).

<b>Quantitativo total dos módulos do Colégio Estadual Getúlio Vargas</b>	<b>Un.</b>	<b>Totais</b>
Estrutura metálica em tesouras ou treliças, vão livre de 12m, perfil cantoneira aço 50X50 e=1/4"	m <sup>2</sup>	<b>958,00</b>
Ripa 1"X2" pinus/cambará serrada 1 qualidade não aparelhada	m	<b>3.476,52</b>
Pintura esmalte fosco, duas demãos, sobre superfície metálica, incluso uma demão de fundo anticorrosivo	m <sup>2</sup>	<b>958,00</b>
Cobertura em telha cerâmica tipo francesa ou marselha, excluindo madeiramento	m <sup>2</sup>	<b>1.014,60</b>
Cumeeira com telha cerâmica emboçada com argamassa traço 1:2:8 (cimento, cal hidratada e areia)	m	<b>41,22</b>
Imunização de madeiramento para cobertura utilizando cupinicida incolor	m <sup>2</sup>	<b>670,60</b>
Ruífo chapa ferro galvanizado nº 26, corte 50cm	m	<b>236,40</b>
Pintura tinta grafite esmalte protetora de superfície metálica 2 demãos	m <sup>2</sup>	<b>141,86</b>

Fonte: A autora (2015).

A quantidade apontada no que se refere a estrutura metálica do projeto padrão 025 é apresentada pela tabela SEIL/DER em Kg, porém a mesma estrutura metálica para o projeto padrão 023 é fornecida pela mesma instituição em m<sup>2</sup>. No entanto, ambas foram convertidas e quantificadas através de suas massas, utilizando densidades oriundas das pesquisas de Hammond e Jones (2008), possibilitando a análise dos resultados.

#### 4.2.2 Determinação dos valores de Energia Embutida EE na cobertura original - Caso B

A determinação das massas foi executada conforme o caso A. Os valores referentes a densidade do material foram obtidos a partir de Hammond e Jones (2008) e resultaram no Quadro 10.

Quadro 10 - Determinação das massas dos componentes da cobertura do Colégio Estadual Getúlio Vargas (padrão 023).

<b>Peso cobertura Colégio Estadual Getúlio Vargas - padrão 023</b>	<b>Massa (Kg)</b>
Estrutura metálica em tesouras ou treliças, vão livre de 12m, perfil cantoneira aço 50X50 e=1/4"	47.449,74
Ripa 1"X2" pinus/cambará serrada 1 qualidade não aparelhada	2.691,49
Pintura esmalte fosco, duas demãos, sobre superfície metálica, incluso uma demão de fundo anticorrosivo	139,48
Cobertura em telha cerâmica tipo francesa ou marselha, excluindo madeiramento	44.845,32
Cumeeira com telha cerâmica emboçada com argamassa traço 1:2:8 (cimento, cal hidratada e areia)	375,10
Imunização de madeiramento para cobertura utilizando cupinicida incolor	134,12
Rufo chapa ferro galvanizado nº 26, corte 50cm	443,59
Pintura tinta grafite esmalte protetora de superfície metálica 2 demãos	141,86

Fonte: A autora (2015).

Para o cálculo da EE foram considerados os índices levantados por Hammond e Jones (2008). Os valores resultam da multiplicação dos índices EE (MJ) do material pela massa (Kg), onde é possível quantificar os valores totais de EE por material empregado na composição da cobertura, conforme equação utilizada no Caso A.

$$EE_{total} = EE_{material} \times Massa$$

Tabela 9 - Cálculo da Energia Embutida EE total envolvida na execução do Colégio Estadual Getúlio Vargas (padrão 023).

<b>Quantitativo energia embutida EE Colégio Estadual Getúlio Vargas</b>	<b>Massa (kg)</b>	<b>EE material (MJ/Kg)</b>	<b>EE total (MJ)</b>	<b>EE total (MJ/m2)</b>
Estrutura metálica em tesouras ou treliças, vão livre de 12m, perfil cantoneira aço 50X50 e=1/4"	47.449,74	36,80	1.746.150,43	1.289,22
Ripa 1"X2" pinus/cambará serrada 1 qualidade não aparelhada	2.691,49	0,72	1.937,88	1,43
Pintura esmalte fosco, duas demãos, sobre superfície metálica, incluso uma demão de fundo anticorrosivo	139,48	68,00	9.484,97	7,00
Cobertura em telha cerâmica tipo francesa ou marselha, excluindo madeiramento	44.845,32	9,00	403.607,88	297,99
Cumeeira com telha cerâmica emboçada com argamassa traço 1:2:8 (cimento, cal hidratada e areia)	375,10	9,00	3.375,92	2,49
Imunização de madeiramento para cobertura utilizando cupinicida incolor	134,12	50,00	6.706,00	4,95
Rufo chapa ferro galvanizado nº 26, corte 50cm	443,59	39,00	17.299,85	12,77
Pintura tinta grafite esmalte protetora de superfície metálica 2 demãos	141,86	68,00	9.646,48	7,12
<b>EE total</b>			<b>2.198.209,41</b>	<b>1.622,99</b>

Fonte: A autora (2015).

Na tabela 9 tem-se o resultado que considera a área total de implantação da edificação de 1.354,42m<sup>2</sup> e um total de Energia Embutida de 2.198,21 GJ, obtendo-se o valor de 1,62GJ/ m<sup>2</sup> de construção.

#### 4.2.3 Determinação dos valores de CO<sub>2</sub> na cobertura original - Caso B

Para o cálculo das massas e totalização de CO<sub>2</sub> foram considerados os índices levantados por Hammond e Jones (2008) e tabulados conforme a metodologia adotada para o caso A (tabela 10).

$$CO_2 \text{ total} = CO_2 \text{ material} \times \text{Massa}$$

Tabela 10 - Cálculo do CO<sub>2</sub> total envolvido na execução do Colégio Estadual Getúlio Vargas (padrão 023).

Quantitativo CO <sub>2</sub> Colégio Estadual Getúlio Vargas	Massa (kg)	CO <sub>2</sub> material (Kg)	CO <sub>2</sub> total (Kg)	CO <sub>2</sub> total (Kg/m <sup>2</sup> )
Estrutura metálica em tesouras ou treliças, vão livre de 12m, perfil cantoneira aço 50X50 e=1/4"	47.449,74	2,78	131.910,28	97,39
Ripa 1"X2" pinus/cambará serrada 1 qualidade não aparelhada	2.691,49	0,45	1.211,17	0,89
Pintura esmalte fosco, duas demãos, sobre superfície metálica, incluso uma demão de fundo anticorrosivo	139,48	3,56	496,57	0,37
Cobertura em telha cerâmica tipo francesa ou marselha, excluindo madeiramento	44.845,32	0,59	26.458,74	19,54
Cumeeira com telha cerâmica emboçada com argamassa traço 1:2:8 (cimento, cal hidratada e areia)	375,10	5,35	2.006,80	1,48
Imunização de madeiramento para cobertura utilizando cupinicida incolor	134,12	5,35	717,54	0,53
Rufo chapa ferro galvanizado nº 26, corte 50cm	443,59	2,82	1.250,91	0,92
Pintura tinta grafite esmalte protetora de superfície metálica 2 demãos	141,86	3,56	505,02	0,37
<b>Total CO<sub>2</sub></b>			<b>164.557,03</b>	<b>121,50</b>

Fonte: A autora (2015).

Na tabela 8 tem-se o resultado que considera a área total de implantação da edificação de 1.354,42m<sup>2</sup> e um total de emissão de CO<sub>2</sub> de 164.557,03Kg obtendo-se o valor de 121,50Kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> de construção.

### 4.3 ESTUDO DAS COBERTURAS READEQUADAS COM A TÉCNICA DE TELHADOS VERDES EXTENSIVOS

A readequação proposta nesta pesquisa considera a utilização de telhados verdes vernaculares extensivos. 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.

Para fins de quantificação e determinação da composição dos materiais empregados na impermeabilização, tomou-se como referencial teórico a tabela de composição de serviços TCPO (2013), conforme Quadro 11, que considera a execução do serviço referente a 1m<sup>2</sup> de edificação. A composição da TCPO (2013) considera material e mão-de-obra para aplicação de uma demão de tinta betuminosa e execução de manta asfáltica colocação de berço amortecedor, soldagem da manta com tiras e adesivos especiais. Não considera serviços de regularização de base, proteção mecânica e camada de amortecimento. Os serviços referenciados como mão-de-obra não são considerados para os fins de cálculo de EE e CO<sub>2</sub>, pois são índices não quantificáveis através destes critérios de sustentabilidade.

Quadro 11 - Materiais empregados na impermeabilização do telhado verde conforme TCPO (2013).

<b>Componentes da Impermeabilização para a execução de 1 m<sup>2</sup></b>	<b>Un.</b>	<b>Qtde.</b>
Tinta betuminosa	l	0,4
Manta asfáltica polimérica estruturada com não tecido de poliéster (espessura=3mm, largura 1,0m)	m <sup>2</sup>	1,15

Fonte: A autora (2015).

O telhado verde vernacular extensivo proposto para os dois casos estudados - A e B - são baseados na composição de Savi (2012) e foi considerada a execução de um berço de 3cm de argila expandida e 5 cm de substrato.

Para o cálculo dos índices de Energia Embutida EE e emissão de CO<sub>2</sub> referentes ao substrato, considera-se o traço referenciado por Lima Junior (2014), sendo:

- 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 m<sup>3</sup> de substrato.

Para fins de cálculo foi suprimido o NPK e o superfosfato triplo. Para este elemento, a pesquisa de Hammond e Jones (2008) apresenta os índices de 2 MJ/Kg e 0,13 KgCO<sub>2</sub>/Kg. Considerando a diluição desses elementos em 1000 m<sup>3</sup> de substrato, o valor encontrado tende a 0 sendo assim não considerado para fins de cálculo de EE e CO<sub>2</sub>. Os valores encontrados para o substrato desta pesquisa são calculados na tabela 11.

Tabela 11- Cálculo de EE e CO<sub>2</sub> referente ao substrato (por Kg).

Componente Substrato	Proporção %	EE material (MJ/Kg)	EE (MJ/Kg)	CO <sub>2</sub> material (Kg)	CO <sub>2</sub> (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
<b>Total</b>			<b>3,2025</b>		<b>0,17895</b>

Fonte: A autora (2015).

#### 4.3.1 Caracterização dos elementos do telhado verde do Colégio Estadual Aníbal Khury - Caso A

Para o cálculo da energia embutida EE e determinação de valores de CO<sub>2</sub>, é necessário determinar as massas em todos os materiais empregados no telhado verde. A determinação das massas foi calculada de duas formas: executado o cálculo do volume multiplicado pela densidade do material e multiplicado pela área quantificada e; considerando o peso por m<sup>2</sup> de área multiplicado pela área de execução, considerando o rendimento de cada material para uma área equivalente a 1.911,60m<sup>2</sup> de cobertura a ser readequada na técnica de telhado verde vernacular (tabela 12).

Tabela 12 - Cálculo das massas dos componentes do telhado verde vernacular do Colégio Estadual Aníbal Khury.

Componentes do Telhado verde vernacular	Un.	Rendimento por m <sup>2</sup> (conf. SAVI, 2012 e TCPO, 2013)	Qtde.	Densidade (kg/m <sup>2</sup> )	Massa (Kg)	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	Massa (Kg)
Tinta betuminosa primer	l	0,40	764,64			1170	894,63
Manta asfáltica polimérica estruturada não tecido de poliéster (espessura=3mm, largura 1,0m)	m <sup>2</sup>	1,15	1.911,60	3,80	7.264,08		
Geotextil não tecido agul. de filamentos contínuos 100% poliéster	m <sup>2</sup>		1.911,60	0,12	229,39		
Manta de retenção de nutrientes 5mm - 100% poliéster	m <sup>2</sup>		1.911,60	0,60	1.146,96		
Argila expandida	m <sup>3</sup>	0,03	57,35			450	25.806,60
Substrato	m <sup>3</sup>	0,05	95,58	80,00	152.928,00		

Fonte: A autora (2015).

##### 4.3.1.1 Determinação dos valores de Energia Embutida EE para o telhado verde - Caso A

O cálculo da EE obedeceu a mesma equação previamente utilizada para a cobertura original, utilizando índices levantados por Hammond e Jones (2008). Os valores resultam da multiplicação dos índices EE (MJ) do material

pela massa (Kg), onde é possível quantificar os valores totais de EE por material empregado na composição da cobertura.

$$EE_{\text{total}} = EE_{\text{material}} \times \text{Massa}$$

Tabela 13 – Cálculo da Energia Embutida EE do Colégio Estadual Aníbal Khury com utilização de telhado verde vernacular.

Quantitativo EE Colégio Estadual Anibal Khury - Telhado verde vernacular	Massa (kg)	EE material (MJ/Kg)	EE total (MJ)	EE total (MJ)/m <sup>2</sup>
Tinta betuminosa primer	894,63	139,32	124.639,68	65,20176
Manta asfáltica polimérica estruturada não tecido de poliéster (espessura=3mm, largura 1,0m)	7.264,08	76,70	557.154,94	291,46
Geotextil não tecido agul. de filamentos contínuos 100% poliester	229,39	76,70	17.594,37	9,204
Manta de retenção de nutrientes 5mm - 100% poliester	1.146,96	76,70	87.971,83	46,02
Argila expandida	25.806,60	7,20	185.807,52	97,2
Substrato	152.928,00	3,20	489.751,92	256,2
<b>Total EE</b>			<b>1.462.920,26</b>	<b>765,29</b>

Fonte: A autora (2015).

Na tabela 13 tem-se o resultado que considera a área total de implantação da edificação de 1.911,60 m<sup>2</sup> e um total de Energia Embutida de 1.462,9GJ GJ, obtendo-se o valor de 765,29MJ/m<sup>2</sup> de construção.

#### 4.3.1.2 Determinação dos valores de CO<sub>2</sub> para o telhado verde - Caso A

O cálculo de CO<sub>2</sub> obedeceu a mesma equação previamente utilizada para a cobertura original, utilizando índices levantados por Hammond e Jones (2008). Os valores resultam da multiplicação dos índices CO<sub>2</sub> (Kg) do material pela massa (Kg), onde é possível quantificar os valores totais de CO<sub>2</sub> por material empregado na composição da cobertura, conforme equação a seguir.

$$CO_2 \text{ total} = CO_2 \text{ material} \times \text{Massa}$$

Tabela 14 – Emissão de CO<sub>2</sub> do Colégio Estadual Aníbal Khury com utilização de telhado verde vernacular.

Quantitativo CO <sub>2</sub> Colégio Estadual Anibal Khury - Telhado verde vernacular	Massa (kg)	CO <sub>2</sub> material (Kg/Kg)	CO <sub>2</sub> total (Kg)	CO <sub>2</sub> total (Kg/m <sup>2</sup> )
Tinta betuminosa primer	894,63	5,91	5.287,26	2,77
Manta asfáltica polimérica estruturada não tecido de poliéster (espesura=3mm, largura 1,0m)	7.264,08	1,60	11.622,53	6,08
Geotextil não tecidoagul. de filamentos contínuos 100% poliester	229,39	1,60	367,03	0,19
Manta de retenção de nutrientes 5mm - 100% poliester	1.146,96	1,60	1.835,14	0,96
Argila expandida	25.806,60	0,52	13.419,43	7,02
Substrato	152.928,00	0,179	27.366,47	14,32
<b>CO<sub>2</sub> total</b>			<b>59.897,85</b>	<b>31,33</b>

Fonte: A autora (2015).

Na tabela 14 tem-se o resultado que considera a área total de implantação da edificação de 1.911,60 m<sup>2</sup> e um total de emissão de CO<sub>2</sub> de 58.897,85Kg obtendo-se o valor de 31,33Kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> de construção.

#### 4.3.2 Caracterização dos elementos do telhado verde do Colégio Estadual Getúlio Vargas - Caso B

Utilizando-se da mesma metodologia adotada no caso A e para fins de se estabelecer os valores de Energia Embutida EE e CO<sub>2</sub>, as massas dos componentes do telhado verde são apresentadas na tabela 15. O colégio Estadual Getúlio Vargas é executado no padrão 023, em 02 pavimentos, resultando assim em uma área de cobertura de 882,95m<sup>2</sup>.

Tabela 15 - Cálculo das massas dos componentes do telhado verde vernacular do Colégio Estadual Getúlio Vargas.

Componentes do Telhado verde vernacular	Un.	Rendimento por m <sup>2</sup> (conf. SAVI, 2012 e TCPO, 2013)	Qtde.	Densid. (kg/m <sup>2</sup> )	Massa (Kg)	Densid. (kg/m <sup>3</sup> )	Massa (Kg)
Tinta betuminosa primer	l	0,40	353,18			1170	413,22
Manta asfáltica polimérica estruturada não tecido de poliéster (espesura=3mm, largura 1,0m)	m <sup>2</sup>	1,15	882,95	3,80	3.355,21		
Geotextil não tecidoagul. de filamentos contínuos 100% poliester	m <sup>2</sup>		882,95	0,12	105,95		
Manta de retenção de nutrientes 5mm - 100% poliester	m <sup>2</sup>		882,95	0,60	529,77		
Argila expandida	m <sup>3</sup>	0,03	26,49			450	11.919,83
Substrato	m <sup>3</sup>	0,05	44,15	80,00	70.636,00		

Fonte: A autora (2015).



#### 4.3.2.1 Determinação dos valores de Energia Embutida EE para o telhado verde - Caso B

Conforme metodologia aplicada no caso A e considerando os valores citados por Hammond e Jones (2008), a tabela 16 apresenta os índices de energia embutida EE para o caso B.

Tabela 16 – Cálculo da Energia Embutida EE do Colégio Estadual Getúlio Vargas com utilização de telhado verde vernacular.

Quantitativo EE Colégio Estadual Getúlio Vargas - Telhado verde vernacular	Massa (kg)	EE material (MJ/Kg)	EE total (MJ)	EE total (MJ)/m <sup>2</sup>
Tinta betuminosa primer	413,22	139,32	57.569,89	42,51
Manta asfáltica polimérica estruturada não tecido de poliéster (espessura=3mm, largura 1,0m)	3.355,21	76,70	257.344,61	190,00
Geotextil não tecidoagul. de filamentos contínuos 100% poliester	105,95	76,70	8.126,67	6,00
Manta de retenção de nutrientes 5mm - 100% poliester	529,77	76,70	40.633,36	30,00
Argila expandida	11.919,83	7,20	85.822,74	63,36
Substrato	70.636,00	3,20	226.211,79	167,02
<b>Total EE</b>			<b>675.709,06</b>	<b>498,89</b>

Fonte: A autora (2015).

O resultado obtido considera a área total construída da edificação de 1.354,42m<sup>2</sup> e um total de Energia Embutida de 675,71GJ, obtendo-se o valor de 498,89MJ/ m<sup>2</sup> de construção.

#### 4.3.2.2 Determinação dos valores de CO<sub>2</sub> para o telhado verde - Caso B

Conforme metodologia aplicada no caso A e considerando os valores citados por Hammond e Jones (2008), a tabela 17 apresenta os índices de CO<sub>2</sub> para o caso B.

Tabela 17 – Emissão de CO<sub>2</sub> do Colégio Estadual Getúlio Vargas com utilização de telhado verde vernacular.

Quantitativo CO <sub>2</sub> Colégio Estadual Getúlio Vargas - Telhado verde vernacular	Massa (kg)	CO <sub>2</sub> material (Kg/Kg)	CO <sub>2</sub> total (Kg)	CO <sub>2</sub> total (Kg/m <sup>2</sup> )
Tinta betuminosa primer	413,22	5,91	2.442,13	1,80
Manta asfáltica polimérica estruturada não tecido de poliéster (espesura=3mm, largura 1,0m)	3.355,21	1,60	5.368,34	3,96
Geotextil não tecidoagul. de filamentos contínuos 100% poliéster	105,95	1,60	169,53	0,13
Manta de retenção de nutrientes 5mm - 100% poliéster	529,77	1,60	847,63	0,63
Argila expandida	11.919,83	0,52	6.198,31	4,58
Substrato	70.636,00	0,179	12.640,31	9,33
<b>CO<sub>2</sub> total</b>			<b>27.666,25</b>	<b>20,43</b>

Fonte: A autora (2015).

O resultado obtido considera a área total de implantação da edificação de 1.354,42m<sup>2</sup> e um total de emissão de CO<sub>2</sub> de 27.666,25Kg obtendo-se o valor de 20,43Kg de CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> de construção.

## CAPÍTULO 5 – ANÁLISE DOS RESULTADOS

Foram analisadas e comparadas as edificações do Colégio Estadual Aníbal Khury do projeto padrão 025 (Caso A) e o Colégio Estadual Getúlio Vargas do projeto padrão 023 (Caso B).

Os dados foram tabulados e originaram gráficos para possibilitar uma análise dos dados com maior abrangência. Os valores de energia embutida e emissões de CO<sub>2</sub> foram obtidos em sua totalidade para ambos os colégios – Caso A e Caso B. Para possibilitar uma análise comparativa dos dados, estes números foram calculados por m<sup>2</sup> de área edificada.

### 5.1 COMPARATIVO 1: CASO A COBERTURA ORIGINAL X CASO A TELHADO VERDE EXTENSIVO: ENERGIA EMBUTIDA EE E ÍNDICES DE EMISSÃO DE CO<sub>2</sub>

Os valores encontrados de Energia embutida EE e emissões de CO<sub>2</sub> para a cobertura original e readequação por telhados verdes do Colégio Estadual Aníbal Khury (Caso A), foram demonstrados na tabela 18.

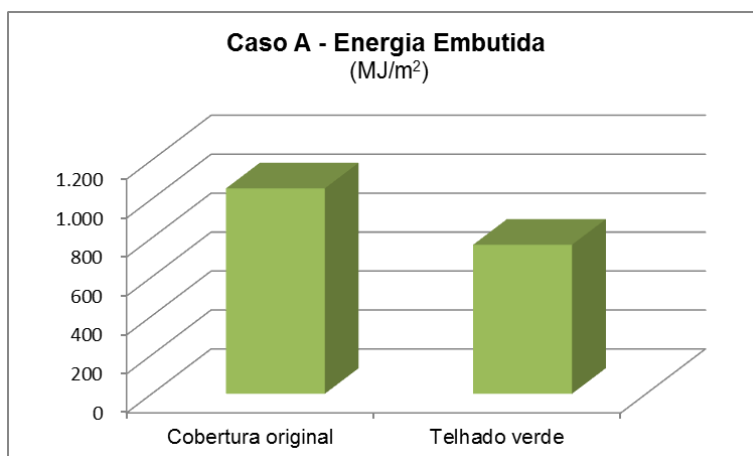
Tabela 18 - Caso A: Energia Embutida EE e emissões de CO<sub>2</sub>

<b>Comparativo 1 - Caso A: Cobertura original X Readequação por Telhado Verde</b>	<b>EE (MJ/m<sup>2</sup>)</b>	<b>CO<sub>2</sub> (Kg/m<sup>2</sup>)</b>
Cobertura original	1.054,67	78,25
Telhado verde	765,29	31,33

Fonte: A autora (2015).

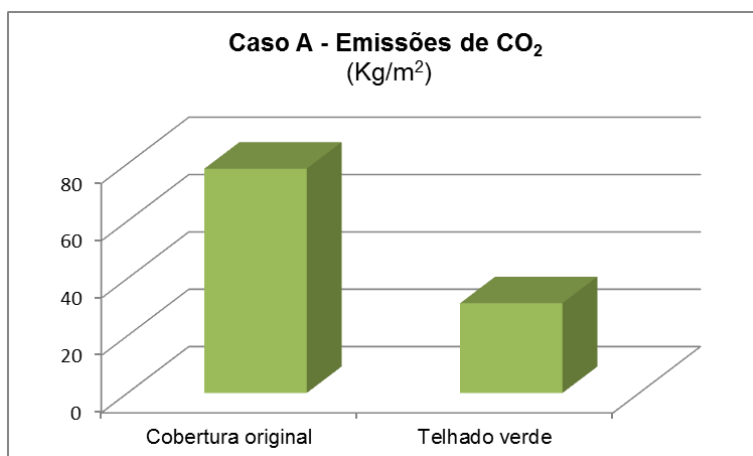
Os valores de Energia embutida EE são de 1,05GJ/m<sup>2</sup> para a cobertura original e 0,76GJ/m<sup>2</sup> para a cobertura readequada utilizando a técnica de telhado verde, representando uma diferença de 0,29GJ/m<sup>2</sup>, o que significa uma redução de 27,44% na EE, conforme demonstra o Gráfico 5.

Gráfico 5 - Caso A: Energia Embutida EE



Fonte: A autora (2015).

Em relação às emissões de CO<sub>2</sub>, os valores encontrados são de 78,25Kg/m<sup>2</sup> para a cobertura original e 31,33Kg/m<sup>2</sup> para a cobertura readequada utilizando a técnica de telhado verde, representando uma diferença de 46,92Kg/m<sup>2</sup> por área edificada, o que significa uma redução de 59,96%, conforme demonstra o Gráfico 6.

Gráfico 6 - Caso A: Emissões de CO<sub>2</sub>

Fonte: A autora (2015).

## 5.2 COMPARATIVO 2: CASO B COBERTURA ORIGINAL X CASO B TELHADO VERDE EXTENSIVO: ENERGIA EMBUTIDA EE E ÍNDICES DE EMISSÃO DE CO<sub>2</sub>

Os valores encontrados de Energia embutida EE e emissões de CO<sub>2</sub> para a cobertura original e readequação por telhados verdes do Colégio Estadual Getúlio Vargas (Caso B), foram demonstrados na tabela 19.

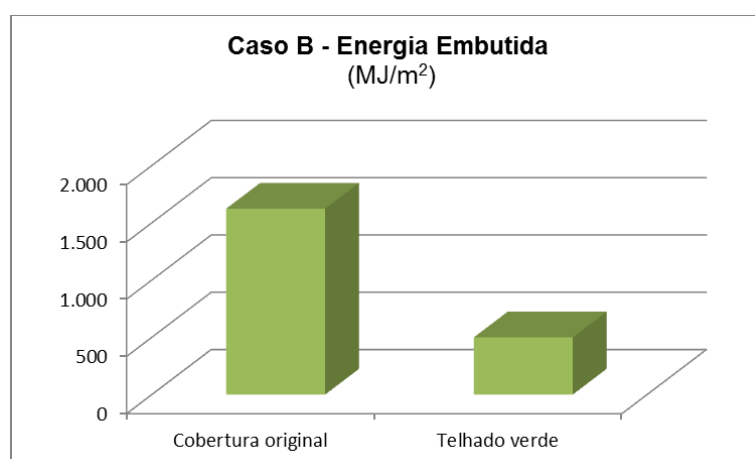
Tabela 19 - Caso B: Energia Embutida EE e emissões de CO<sub>2</sub>

Comparativo 2 - Caso B: Cobertura original X Readequação por Telhado Verde	EE (MJ/m <sup>2</sup> )	CO <sub>2</sub> (Kg/m <sup>2</sup> )
Cobertura original	1.622,99	121,50
Telhado verde	498,89	20,43

Fonte: A autora (2015).

Os valores encontrados de energia embutida EE são de 1,62GJ/m<sup>2</sup> para a cobertura original e 0,49GJ/m<sup>2</sup> para a cobertura readequada utilizando a técnica de telhado verde, representando uma diferença de 1,12GJ/m<sup>2</sup>, o que significa uma redução de 69,26% na EE, conforme demonstra o Gráfico 7.

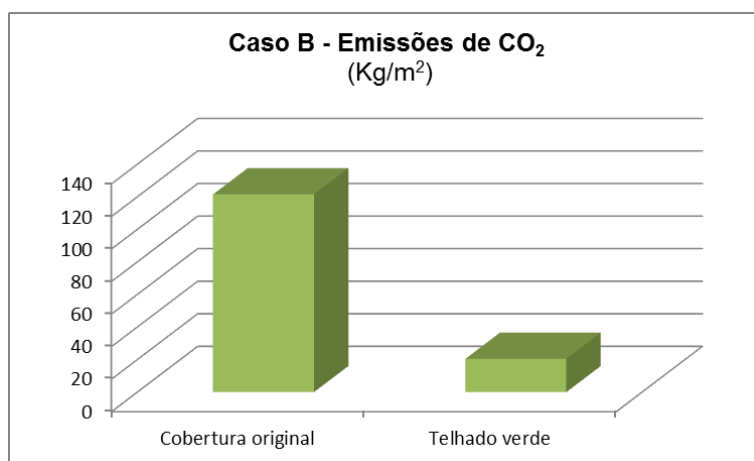
Gráfico 7 - Caso B: Energia Embutida EE



Fonte: A autora (2015).

Em relação às emissões de CO<sub>2</sub>, os valores encontrados são de 121,50Kg/m<sup>2</sup> para a cobertura original e 20,43Kg/m<sup>2</sup> para a cobertura readequada utilizando a técnica de telhado verde, representando uma diferença de 101,07Kg/m<sup>2</sup>, o que significa uma redução de 83,19%, conforme demonstra o Gráfico 8.

Gráfico 8 - Caso B: Emissões de CO<sub>2</sub>



Fonte: A autora (2015).

### 5.3 COMPARATIVO 3: CASO A COBERTURA ORIGINAL X CASO B COBERTURA ORIGINAL: ENERGIA EMBUTIDA EE E ÍNDICES DE EMISSÃO DE CO<sub>2</sub>

Os valores encontrados de Energia embutida EE para a cobertura original dos Caso A e do Caso B, foram demonstrados na tabela 20.

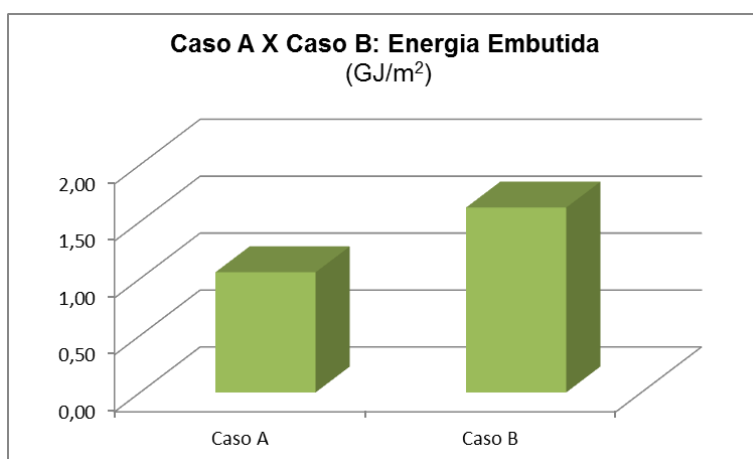
Tabela 20 - Energia Embutida coberturas originais Caso A e Caso B

Comparativo 3 - Coberturas originais Caso A e Caso B: Energia embutida EE	Área construída (m <sup>2</sup> )	EE total cobertura (GJ)	EE (GJ/m <sup>2</sup> )
Caso A	1.911,60	2016	1,05
Caso B	1.354,42	2198	1,62

Fonte: A autora (2015).

Os números apresentados demonstram que para a cobertura original, o Colégio Estadual Aníbal Khury (Caso A) apresenta uma EE 35,02% menor em relação ao Colégio Estadual Getúlio Vargas (Caso B), conforme demonstra o Gráfico 9 . Para a estrutura metálica utilizada na cobertura do projeto padrão 023, presente no caso B estudado foi verificado o valor de 853,48MJ/m<sup>2</sup> superior quando comparada a cobertura original do projeto padrão 025 (Caso A), que utiliza como estrutura da cobertura predominantemente madeira de cambará ou pinus.

Gráfico 9 - Caso A X Caso B: Energia Embutida EE



Fonte: A autora (2015).

Os valores encontrados de emissões de CO<sub>2</sub> para a cobertura original dos Caso A e do Caso B, foram demonstrados na tabela 21.

Tabela 21- Emissões de CO<sub>2</sub> coberturas originais Caso A e Caso B

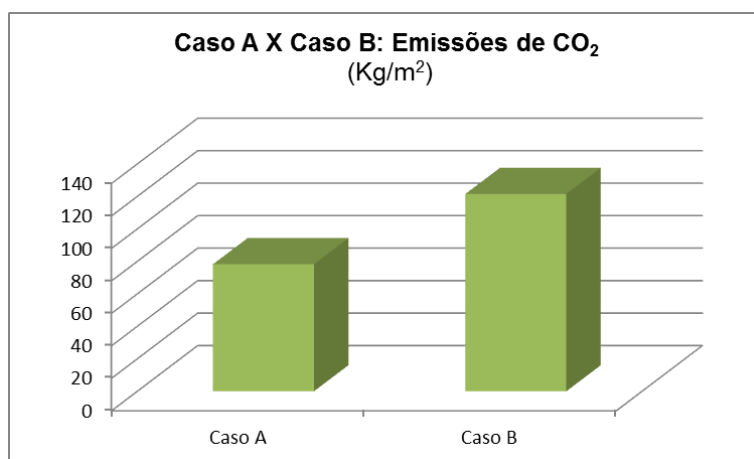
Comparativo 3 - Coberturas originais Caso A e Caso B: Emissões de CO <sub>2</sub>	Área construída (m <sup>2</sup> )	CO <sub>2</sub> total cobertura (Kg)	CO <sub>2</sub> (Kg/m <sup>2</sup> )
Caso A	1.911,60	149581	78,25
Caso B	1.354,42	164557	121,50

Fonte: A autora (2015).

Em relação às emissões de CO<sub>2</sub>, os números apresentados quando comparados entre os colégios, demonstram que para a cobertura original, o

Colégio Estadual Aníbal Khury (Caso A) apresenta emissões de 35,59% menor quando comparada ao Colégio Estadual Getúlio Vargas (Caso B), conforme demonstra o Gráfico 10. A estrutura metálica utilizada na cobertura do projeto padrão 023, presente no caso B estudado, tem uma emissão de CO<sub>2</sub> de 64,47Kg/m<sup>2</sup> superior ao projeto padrão 025 (Caso A), que utiliza como estrutura da cobertura predominantemente madeira de cambará ou pinus.

Gráfico 10 - Caso A X Caso B: Emissões de CO<sub>2</sub>



Fonte: A autora (2015).

#### 5.4 COMPARATIVO 4: CASO A TELHADO VERDE EXTENSIVO X CASO B TELHADO VERDE EXTENSIVO: ENERGIA EMBUTIDA EE, ÍNDICES DE EMISSÃO DE CO<sub>2</sub>

Os valores encontrados de Energia embutida EE para a cobertura readequada por telhados verdes do Caso A e do Caso B, foram demonstrados na tabela 22.



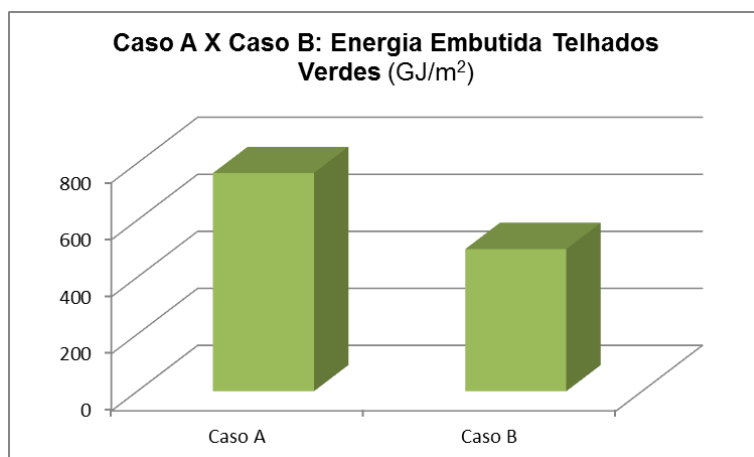
Tabela 22- Energia Embutida das coberturas readequadas por telhados verdes: Caso A e Caso B

Comparativo 4 - Coberturas readequadas por telhado verde Caso A e Caso B: Energia embutida EE	Área construída (m <sup>2</sup> )	Área projeção da cobertura (m <sup>2</sup> )	EE total cobertura (GJ)	EE (GJ/m <sup>2</sup> )
Caso A	1.911,60	1.911,60	1462925,26	765,29
Caso B	1.354,42	882,95	675709,06	498,89

Fonte: A autora (2015).

Após readequação por telhados verdes, o Caso B passa a apresentar uma EE 34,81% menor em relação ao caso A, conforme demonstrado no Gráfico 11. Observa-se que o projeto 023 (Caso B), possui 02 pavimentos na maior parte de sua implantação, abrangendo assim uma maior área edificada com menor área de telhado.

Gráfico 11 - Caso A X Caso B: Energia Embutida EE Telhados Verdes



Fonte: A autora (2015).

Os valores encontrados de Energia embutida EE para a cobertura readequada por telhados verdes do Caso A e do Caso B, foram demonstrados na tabela 23.

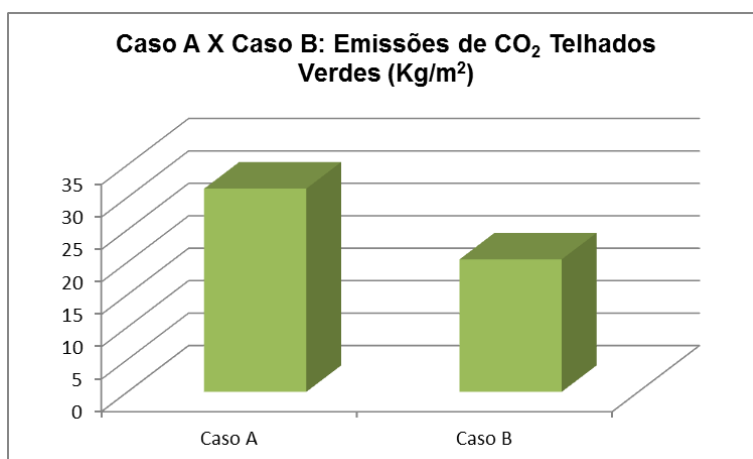
Tabela 23- Emissões de CO<sub>2</sub> das coberturas readequadas por telhados verdes: Caso A e Caso B

Comparativo 4 - Coberturas readequadas por telhado verde Caso A e Caso B: Emissões de CO <sub>2</sub>	Área construída (m <sup>2</sup> )	Área projeção da cobertura (m <sup>2</sup> )	CO <sub>2</sub> total cobertura (Kg)	CO <sub>2</sub> (Kg/m <sup>2</sup> )
Caso A	1.911,60	1.911,60	59897,85	31,33
Caso B	1.354,42	882,95	27666,25	20,43

Fonte: A autora (2015).

Em relação às emissões de CO<sub>2</sub> o Caso B passa a apresentar índices de 53,42% menor em relação ao caso A, conforme demonstrado no Gráfico 12. Observa-se que o projeto 023 (Caso B), possui 02 pavimentos na maior parte de sua implantação, abrangendo assim uma maior área edificada com menor área de telhado.

Gráfico 12 - Caso A X Caso B: Emissões de CO<sub>2</sub> Telhados Verdes



Fonte: A autora (2015).

## CAPÍTULO 6 – CONCLUSÃO

A introdução desta pesquisa já salienta o fato de que o edifício escolar caracteriza uma tipologia que deve constituir-se em uma referência avançada de arquitetura, funcionando como agente disseminador dos conceitos considerados essenciais à obtenção de uma edificação de qualidade, para a qual os parâmetros da sustentabilidade são fundamentais. 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 CO<sub>2</sub>, analisando as possíveis contribuições desta substituição.

A adoção de telhados verdes extensivos pode ser viável na readequação das unidades escolares públicas, visto que a camada de substrato mineral necessita de poucos nutrientes e baixa profundidade, sendo adequada a plantas menos exigentes e de pouca manutenção.

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 CO<sub>2</sub>, 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 CO<sub>2</sub>, 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 ao Caso A.

Em relação às emissões de CO<sub>2</sub>, o caso B demonstrou uma redução de 53,42% quando comparado ao Caso A.

Estes números demonstram um dado relevante quanto ao projeto 023. A estrutura metálica presente na cobertura do projeto deste padrão, aumenta ambos os índices de EE e CO<sub>2</sub>. Porém após a readequação os índices são reduzidos, pois este padrão, por possuir 02 pavimentos na maior parte de sua implantação, abrange uma maior área edificada com menor área de cobertura.

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.

## 6.1 TRABALHOS FUTUROS

Com a urgente necessidade de redução de impactos ambientais das atividades da construção civil e a busca por materiais e técnicas mais sustentáveis, é relevante o desdobramento e a continuidade desta pesquisa. Considerando a natureza educacional desta tipologia de edificação, a contribuição social é multiplicada. Os trabalhos listados a seguir poderão fornecer a oportunidade de aprofundamento das informações obtidas na literatura por meio de pesquisa exploratória e do estudo de caso deste trabalho.

- Simulação de EE e CO<sub>2</sub> através do uso de software;
- Experimento em colégio por meio da execução de telhado verde extensivo;
- Estudo de caso da aplicação de telhados verdes semi-intensivos alinhados a práticas de ensino e pesquisa;
- Análise de viabilidade econômica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCAZAR, B.; BASS B. *Energy performance of green roofs in a multi storey residential building in Madrid. Greening for sustainable communities.* Washington DC. 2005.

ANNUNZIATO, E.S. **O impacto da sustentabilidade na formação dos contratos.** Âmbito Jurídico, Rio Grande, XIV, n° 95, 2011. Disponível em <[http://www.ambitojuridico.com.br/site/index.php?n\\_link=revista\\_artigos\\_leitura&artigo\\_id=10938](http://www.ambitojuridico.com.br/site/index.php?n_link=revista_artigos_leitura&artigo_id=10938)> Acesso em: 05 de abril de 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14001: Sistemas de gestão ambiental — Requisitos com orientações para uso.** Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9050: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos.** Rio de Janeiro, 2004.

BALDESSAR, S.M.N. **Telhado verde e sua contribuição na redução da vazão da água pluvial escoada.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Paraná, Programa de pós-graduação em Engenharia da Construção Civil. Curitiba. 2012.

BOFF, L. **Sustentabilidade O que é – O que não é.** 2ª edição. Editora Vozes. São Paulo, 2013.

BONATTO, H. **Licitações e contratos de obras e serviços de engenharia.** 2ª edição. Editora Fórum. Belo Horizonte. 2012.

BRASIL. **Cidades Sustentáveis: Subsídios à elaboração da Agenda 21 Brasileira.** Ministério do Meio Ambiente. Brasília, 2000.

BRASIL. Casa Civil. **Lei nº 8.666, de 21 de junho de 1993.** Regulamenta o art. 37, inciso XXI, da Constituição Federal, institui normas para licitações e contratos da Administração Pública e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/CCIVIL\\_03/leis/L8666cons.htm](http://www.planalto.gov.br/CCIVIL_03/leis/L8666cons.htm)>. Acesso em: 25 de Agosto de 2014.

BRASIL. **Manual escolas sustentáveis. Resolução CD/FNDE nº 18, de 21 de maio de 2013.** Ministério da Educação. Disponível em: <<http://www.fnde.gov.br/fnde/legislacao/resolucoes/item/4542-resolu%C3%A7%C3%A3o-cd-fnde-n%C2%BA-18,-de-21-de-maio-de-2013>> Acesso em: 13 de agosto de 2014.

BRASIL. **Instrução normativa nº 01, de 19 de janeiro de 2010.** Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Disponível em: <<http://www.comprasnet.gov.br/legislacao/legislacaoDetalhe.asp?ctdCod=295>>. Acesso em: 02 de agosto de 2014.

BUCHANAN, A.; HONEY, B. **Energy and Carbon Dioxide Implications of Building Construction.** *Energy and Buildings* 20:205-217. 1994.

CASTLETON, H.F.; STOVIN V.; BECK S.B.M.; DAVISON J.B. **Green roofs; building energy savings and the potential for retrofit.** *Energy and Buildings*. UK. 2010.

CASTRO, E.A.; POSSE, Z.C.S. **Ginásios, escolas normais e profissionais. A arquitetura escolar do Paraná na primeira metade do século XX.** Ministério da Cultura. Curitiba. 2012.

CALLISTER, W. **Materials science and engineering: an introduction.** John Wiley & Sons. New York. 2003.

EDWARDS, B. **Guia básico para a sustentabilidade.** Editora Gustavo Gili. São Paulo. 2013.

FENG, C.; MENG Q.; ZHANG Y. **Theoretical and experimental analysis of the energy balance of extensive green roofs.** *Energy and Buildings* 42, pg. 959–965. China. 2010.

FREITAS, C.G.L.; BRAGA, T.O.; BITAR, O.Y.; FARAH, F. **Habitação e meio ambiente.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2001.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa.** Ed. 5. São Paulo: Atlas, 2010.

GRAF, H.F.; TAVARES, S.F. **Energia incorporada dos materiais de uma edificação padrão brasileira residencial**. Congresso de Inovação, tecnologia e sustentabilidade. Brusque. 2010.

GRIGOLETTI, G.C.; SATTLER, M.A. **Estratégias ambientais para indústrias de cerâmica vermelha no estado do Rio Grande do Sul**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 3, n. 3, p. 19-32, jul./set. 2003.

HAMMOND, G; JONES C. **Inventory of carbon & energy (ICE)**. *University of Bath*. UK. 2008.

IGRA – **Internacional Green Roof Association**. Disponível em <[http://www.igra-world.com/types\\_of\\_green\\_roofs/index.php](http://www.igra-world.com/types_of_green_roofs/index.php)> Acesso em: 11 de agosto de 2014.

JUNIOR LIMA, J. E. **Avaliação da influência de um sistema de fachada viva: o estudo de caso da planta *sphagneticola trilobata* em condições de inverno de Curitiba**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Paraná, Programa de pós-graduação em Engenharia da Construção Civil. Curitiba. 2014.

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

KOWALTOWSKI, D.C.C.K.; BARROS, L.A.F. **Avaliação de projeto padrão de creche em conjuntos habitacionais de interesse social: o aspecto da implantação**. Universidade Estadual de Campinas. 2012.

KOWALTOWSKI, D.C.C.K.; DELIBERADOR, M.S. **Os elementos de conforto no processo de projeto escolar no estado de São Paulo**. XI Encontro nacional de conforto no ambiente construído. Rio de Janeiro. 2010.

LAMBERTS, R.; GHISI, E.; PEREIRA, C.D.; BATISTA, J.O. **Casa eficiente: Bioclimatologia e Desempenho Térmico**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2010.

LOBO, F.H.R. **Inventário de emissão equivalente de dióxido de carbono e energia embutida na composição de serviços em obras públicas: estudo de caso no estado do Paraná**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal



do Paraná, Programa de pós-graduação em Engenharia da Construção Civil. Curitiba. 2010.

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.

MORETTI, R. S. **Habitação e sustentabilidade**. Técnica, São Paulo, v. 95, p. 44-47, 2005.

MORAES, V. **Proposta de diretrizes para o projeto de retrofit: O caso de uma edificação para ensino**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal Fluminense. Niterói. 2011.

OBA, M. M. **O projeto de readequação visando a construção mais sustentável no edifício moderno: estudo de caso sobre o Centro Politécnico da UFPR**. Universidade Federal do Paraná, Programa de pós-graduação em Engenharia da Construção Civil. Curitiba, 2014.

PARANÁ. **Resolução Conjunta SEIL/DER 005/2012 - Composições de Serviços de Edificações**. DER – DEPARTAMENTO DE ESTRADAS E RODAGENS. Disponível em: <[http://www.der.pr.gov.br/arquivos/File/custos%20edificacoes/3\\_COMPOSICOES\\_JULHO\\_2012.pdf](http://www.der.pr.gov.br/arquivos/File/custos%20edificacoes/3_COMPOSICOES_JULHO_2012.pdf)> Acesso em: 10 de agosto de 2014.

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.

ROAF, S.; FUENTES, M.; THOMAS-REES, S. **Ecohouse: a casa ambientalmente sustentável**. 4º. ed. Porto Alegre: Bookman, 2014. 488p.

ROBSON, C. **Real World Research. Third Edition**. Wiley. 2011.

ROSSO, T. **Racionalização da construção**. FAUUSP, São Paulo, 1980.

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.

SÃO PAULO. **Fundação Nacional de Desenvolvimento Educacional - FDE**.

Disponível em:

<[http://catalogotecnico.fde.sp.gov.br/meu\\_site/AP%20Download/normas\\_arquitetura.pdf](http://catalogotecnico.fde.sp.gov.br/meu_site/AP%20Download/normas_arquitetura.pdf)> Acesso em: 11 de agosto de 2014.

SAVI, A. C. **Telhados Verdes: análise comparativa de custo com sistemas tradicionais de cobertura**. Monografia (Construções Sustentáveis). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba. 2012.

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

SCHEUER, C. W.; KEOLEIAN, G. A. **Evaluation of LEED using life cycle assessment methods**. *National Institute of Standards and Technology. University of Michigan*. 2002.

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, S. F. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de pós-graduação em Engenharia Civil. Florianópolis. 2006.

TCPO. **Tabela de composição de preços e orçamentos**. PINI. São Paulo. 2013.

THORMARK, C. **Conservation of energy and natural resources by recycling building waste: Case study**. *International Journal of Conservation, Resources and Recycling*, Vol. 33/2, pp 113-130. 2001.

TIMMEREN, A.V.; ZWETSLOOT, J.; BREZET, H.; SILVESTER, S. ***Sustainable urban regeneration based on energy balance***. *Sustainability*. Holanda, v.4, p,1488-1509. 2012.

UGALDE, J. **Contribuição da natureza para a eficiência energética na Arquitetura**. 3º RELATÓRIO SEMESTRAL. UFRJ/COPPE/PPE - CNPq/Energia, 2004.

VECCHIA, F. **Cobertura Verde Leve (CVL): Ensaio Experimental**. Encac, Enlacac. Maceio, out. 2005. Disponível em:  
[http://www.eesc.usp.br/shs/attachments/121\\_COBERTURA\\_VERDE\\_LEVE\\_ENSAIO\\_EXPERIMENTAL.pdf](http://www.eesc.usp.br/shs/attachments/121_COBERTURA_VERDE_LEVE_ENSAIO_EXPERIMENTAL.pdf) Acesso em: 15 de março de 2014.

WONG, N.H.; TAY, S.F.; WONG, R.; ONG, C.L.; SIA A. ***Life cycle cost analysis of rooftop gardens in Singapore***. *Building and Environment*. Singapura, v. 38, p. 499-509, 2003.

YIN, R. **Estudo de caso**. 2ª edição. Editora Bookman. Porto Alegre. 2001.

## APÊNDICES

Apêndice 1 - Densidades, Energia Embutida e CO<sub>2</sub> dos componentes da cobertura original do projeto padrão 025 e 023.

Material	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	EE (MJ/Kg)	CO <sub>2</sub> (Kg)
Aço estrutural laminado CA50	7800	36,8	2,78
Ferro galvanizado	7800	39	2,82
Madeira	600	0,72	0,45
Cerâmica (telha)	1900	9	0,59
Cupinicida	800 <sup>(1)</sup>	50	5,35
Fundo preparador primer a base de epoxi	1170 <sup>(1)</sup>	139,32	5,91
Pintura tinta fosfatizante	910 <sup>(1)</sup>	68	3,56
Pintura tinta grafite esmalte	1100 <sup>(1)</sup>	68	3,56

Fonte: A autora (2015).

Apêndice 2 - Determinação das massas das madeiras utilizadas na cobertura do Colégio Estadual Getúlio Vargas (padrão 023).

Madeiras	Quantidade (m)	Largura (in)	Espessura (in)	Largura (m)	Espessura (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	Densidade Material	Massa (Kg)
Ripa 1"x2" pinus/cambará serrada 1 qualidade não aparelhada	3.476,52	2,00	1,00	0,05080	0,02540	4,48582	600	2.691,49

Fonte: A autora (2015).

Apêndice 3 - Determinação das massas das tintas utilizadas na cobertura do Colégio Estadual Getúlio Vargas (padrão 023).

Tintas	Quantidade (m <sup>2</sup> )	Rendimento Lobo (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	Demão	Volume (m <sup>3</sup> )	Densidade Material	Massa (kg)
Imunização de madeiramento para cobertura utilizando cupinicida incolor	670,60	0,00025	1	0,16765	800	134,12
Pintura esmalte fosco, duas demãos, sobre superfície metálica, incluso uma demão de fundo anticorrosivo	958,00	0,00008	2	0,15328	910	139,48
Pintura tinta grafite esmalte protetora de superfície metálica 2 demãos	141,86	0,00005	2	0,014186	1100	15,60

Fonte: A autora (2015).

Apêndice 4 - Determinação das massas das cerâmicas utilizadas na cobertura do Colégio Estadual Getúlio Vargas (padrão 023).

<b>Cerâmicas (cobertura)</b>	unidade	quantidade	Pçs/m <sup>2</sup> ou Pçs/m	Kg/pç	Massa (kg)
Cobertura em telha cerâmica tipo francesa ou marselha, excluindo madeiramento	m <sup>2</sup>	1.014,60	17	2,6	<b>44.845,32</b>
Cumeeira com telha cerâmica emboçada com argamassa traço 1:2:8 (cimento, cal hidratada e areia)	m	41,22	3,5	2,6	<b>375,10</b>

Fonte: A autora (2015).

Apêndice 5 - Determinação das massas dos metais utilizados na cobertura do Colégio Estadual Getúlio Vargas (padrão 023).

<b>Metal</b>	unidade	quantidade	Largura (m)	Espessura (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	Densidade Material	Massa (Kg)
Estrutura metálica em tesouras ou treliças, vão livre de 12m, perfil cantoneira aço 50X50 e=1/4"	M2	958,00		0,00635	6,08	7800	<b>47.449,74</b>
Rufo chapa ferro galvanizado nº 26, corte 50cm	m	236,40	0,50	0,00	0,06	7800	<b>443,59</b>

Fonte: A autora (2015).

Apêndice 6 - Densidades, Energia Embutida e CO<sub>2</sub> dos componentes do telhado verde.

<b>Componentes do Telhado verde vernacular</b>	Densidade (kg/m <sup>2</sup> )	EE (MJ/Kg)	CO <sub>2</sub> (Kg)
manta asfáltica polimérica estruturada com não tecido de poliéster (espessura=3mm, largura 1,0m)	3,80	76,70	1,60
Geotextil não tecidoagul. de filamentos contínuos 100% poliester	0,12	76,70	1,60
Manta de retenção de nutrientes 5mm - 100% poliester	0,60	76,70	1,60
Substrato	80,00	3,20	0,179

Fonte: A autora (2015).

Apêndice 7 - Densidades, Energia Embutida e CO<sub>2</sub> dos componentes do telhado verde.

<b>Componentes do Telhado verde vernacular</b>	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	EE (MJ/Kg)	CO <sub>2</sub> (Kg)
tinta betuminosa primer	1170 <sup>(1)</sup>	139,32	5,91
Argila expandida	450	7,20	0,52

Fonte: A autora (2015).

Apêndice 8 - Quantitativo do telhado verde vernacular para readequação do Colégio Estadual Aníbal Khury (projeto padrão 025).

<b>Componentes do Telhado verde vernacular</b>	un.	Rendimento por m <sup>2</sup> (conf. SAVI, 2012 e TCPO,2013)	quantidade
tinta betuminosa primer	l	0,40	764,64
manta asfáltica polimérica estruturada não tecido de poliéster (espessura=3mm, largura 1,0m)	m <sup>2</sup>	1,15	1.911,60
Geotextil não tecidoagul. de filamentos contínuos 100% poliester	m <sup>2</sup>		1.911,60
Manta de retenção de nutrientes 5mm - 100% poliester	m <sup>2</sup>		1.911,60
Argila expandida	m <sup>3</sup>	0,03	57,35
Substrato	m <sup>3</sup>	0,05	95,58

Fonte: A autora (2015).

Apêndice 9 - Quantitativo do telhado verde vernacular para readequação do Colégio Estadual Getúlio Vargas (projeto padrão 023 - SUDE).

		Rendimento por m <sup>2</sup> (conf. SAVI, 2012 e TCPO,2013)	Quantidade
<b>Componentes do Telhado verde vernacular</b>	un.		
tinta betuminosa primer	l	0,40	353,18
manta asfáltica polimérica estruturada não tecido de poliéster (espesura=3mm, largura 1,0m)	m <sup>2</sup>	1,15	882,95
Geotextil não tecidoagul. de filamentos contínuos 100% poliester	m <sup>2</sup>		882,95
Manta de retenção de nutrientes 5mm - 100% poliester	m <sup>2</sup>		882,95
Argila expandida	m <sup>3</sup>	0,03	26,49
Substrato	m <sup>3</sup>	0,05	44,15

Fonte: A autora (2015).

Apêndice 10 – Comparativo EE/m<sup>2</sup> entre Caso A e B

Comparativo EE/m <sup>2</sup> (MJ)	Cobertura original	Readequação com Telhado	diferença	diferença%
Colégio Estadual Anibal Khury - Padrão 025 (Caso A)	1.054,67	765,29	289,38	27,44
Colégio Estadual Getúlio Vargas - Padrão 023 (Caso B)	1.622,99	498,89	1.124,10	69,26

Fonte: A autora (2015).

Apêndice 11 – Comparativo CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> entre Caso A e B

Comparativo CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> (Kg)	Cobertura original	Readequação com Telhado	diferença	diferença%
Colégio Estadual Anibal Khury - Padrão 025 (Caso A)	78,25	31,33	46,92	59,96
Colégio Estadual Getúlio Vargas - Padrão 023 (Caso B)	121,50	20,43	101,07	83,19

Fonte: A autora (2015).