

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Aurélio Marcos Wijnands

Telha Verde: Sistema pré-vegetado e integrado para telhados verdes



Rio de Janeiro

2018

Aurélio Marcos Wijnands

Telha Verde: Sistema pré-vegetado e integrado para telhados verdes

Projeto de graduação apresentado ao Programa de Graduação em Desenho Industrial da Escola de Belas Artes da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Desenho Industrial Projeto de Produto.

Orientador: Gerson Lessa

Rio de Janeiro

2018

Aurélio Marcos Wijnands

Telha Verde: Sistema pré-vegetado e integrado para telhados verdes

Projeto de graduação apresentado ao Programa de Graduação em Desenho Industrial da Escola de Belas Artes da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Desenho Industrial Projeto de Produto.

Aprovada em _____

Prof. Gerson Lessa, Orientador, UFRJ/BAI

Prof. Anael Alves, UFRJ/BAI

Prof. Patrícia March, UFRJ/BAI

CIP - Catalogação na Publicação

W662 t Wijnands, Aurélio Marcos
Telha Verde: Sistema pré-vegetado e integrado
para telhados verdes / Aurélio Marcos Wijnands. --
Rio de Janeiro, 2018.
206 f.

Orientador: Gerson Lessa.
Trabalho de conclusão de curso (graduação) -
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de
Belas Artes, Bacharel em Desenho Industrial, 2018.

1. Design. 2. Telhados Verdes. 3.
Sustentabilidade. 4. Arquitetura. 5. Botânica. I.
Lessa, Gerson , orient. II. Título.

Agradecimentos

Agradeço especialmente ao meu orientador Gerson Lessa por ter acreditado na minha capacidade para realizar essa pesquisa juntamente com suas diversas contribuições e críticas construtivas acerca do projeto.

Aos meus pais Eric e Cristina e minha namorada Raquel pelo suporte técnico e psicológico.

Ao meu amigo Rafael Aguirre e meus colegas orientandos pelas contribuições à pesquisa.

Ao botânico Bruno Rezende e à Luís Cassiano, por disponibilizarem seus espaços, pesquisas e testes, muito relevantes a esse projeto.

Ao biólogo Gustavo Borja, pelas contribuições técnicas.

À florista Helena, pelas doações de mudas de plantas.

Aos jardineiros e funcionários do Horto UFRJ.

À Tarcila e Cley, funcionários da empresa Subindo Verdes, representantes da empresa Ecotelhado®.

Resumo

WIJNANDS, Aurélio. Telha Verde: Sistema pré-vegetado e integrado para telhados verdes. Rio de Janeiro, 2018. Projeto de graduação (Bacharelado em Desenho Industrial) – Escola de Belas Artes, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2018.

O seguinte trabalho destina-se ao estudo e proposta de um sistema de cobertura vegetal em residências e estabelecimentos diversos. Neste documento, encontra-se uma pesquisa prévia acerca dos tipos de telhado verde e a evolução dessa tecnologia no tempo, seguido de uma proposta para um novo tipo de telhado verde que não utiliza terra como substrato e funciona como uma telha ou como módulo para *retrofit* de telhados existentes.

Palavras-chave: Design, Telhados verdes, Vegetação, Indústria

Abstract:

Wijnands, Aurélio. Greenroofs.: Pre-Vegetated and Integrated Greenroof Systems

The following work is aimed at the study and proposal of a vegetation cover system in residences and various establishments. In this document, there is a previous research on the types of green roof and the evolution of this technology over time, followed by a proposal for a new type of green roof that does not use soil as substrate and works as a roof tile or as a module for retrofit of existing roofs.

Key words: *Design, Green Roof, Vegetation, Industry*

Lista de Figuras

<i>Figura 1: Evolução do efeito das Ilhas de Calor em Recife, PE, entre 1998 e 2011.</i>	19
<i>Figura 2: Telhado verde intensivo no Palácio Gustavo Capanema no Rio de Janeiro. Foto: https://www.flickr.com/photos/fadb/7921064536/ (Acessado em 20/11/2018).</i>	20
<i>Figura 3: Benefícios de um telhado verde. Elaboração própria, baseada no artigo de Jacklyn Johnston & John Newton. Building Green. A guide to using plants on roofs, walls and pavements. Londres, 2004.</i>	23
<i>Figura 4: Índices de mobilidade social brasileira em 2017. Fonte: apud Bradesco e LCA.</i>	26
<i>Figura 5: Índices de poder de compra das classes sociais no Brasil. Fonte: DataFolha.</i>	27
<i>Figura 6: Preços por metro quadrado utilizando telhas convencionais.</i>	29
<i>Figura 7: Identificação de camadas do sistema MEG extensivo.</i>	34
<i>Figura 8: Telhado verde intensivo e, cobertura pavimentada. Fonte: obvious-mag.org/archives/2009/06/telhados_verdes.html (Acessado em 08/09/2018).</i>	36
<i>Figura 9: Telhado verde extensivo no Morro da Babilônia, RJ. Fonte: https://ecotelhado.com/telhado-verde-chega-tambem-aos-morros-cariocas/ (Acessado em 08/09/2018).</i>	36
<i>Figura 10: Comparação entre tipos de telhados verdes. Elaboração própria.</i>	38
<i>Figura 11: Desabamento no Shopping Center Zolitude com telhado verde em 2013, em Riga, Letônia.</i>	39
<i>Figura 12: Principais camadas de um telhado verde extensivo.</i>	42
<i>Figura 13: Perfuração produzida por raízes de plantas em mantas asfálticas e de PVC.</i>	44
<i>Figura 14: Aplicação da manta asfáltica. Foto: Sergio Boccardo. Fonte: https://www.mapadaobra.com.br/capacitacao/impermeabilizacao-de-laje-com-manta-asfaltica/ (Acessada em 20/11/2018).</i>	45
<i>Figura 15: Módulo de armazenamento parcial e drenagem de água. Fonte: https://www.isola.com/products-2/roof/green-roof/flat-green-roofs/ (Acessado em 14/10/2018).</i>	46
<i>Figura 16: Assentamento do substrato terra para acomodação dos tapetes de grama em telhado verde no edifício Firjan RJ, em Botafogo, Rio de Janeiro. Elaboração própria.</i>	47
<i>Figura 17: Carpete de Sedum.</i>	48
<i>Figura 18: Reservatório de água de uma bromélia.</i>	49
<i>Figura 19: Fatores determinantes a escolha do telhado. Elaboração própria.</i>	50
<i>Figura 20: Representação da conversão entre as dimensões de um telhado e sua inclinação.</i> ...	51
<i>Figura 21: Conversão dos valores de inclinação em porcentagem para graus. Fonte: Minke, G. Dacher Begrüen – einfach und wirkungsvoll. 2010.</i>	52
<i>Figura 22: Classificação dos telhados pelo número de inclinações. Fonte: www.pedreiro.com.br (Acessado em 21/10/2018).</i>	53
<i>Figura 23: Vista de telhados com diferentes inclinações em Botafogo - RJ. Elaboração própria.</i>	54
<i>Figura 24: Telhado com várias águas, em Botafogo – RJ.</i>	54
<i>Figura 25: Engradamento metálico. Fonte: www.masteel.com.br/estrutura-metalica-galvanizada (Acessada em 16/10/2018).</i>	55
<i>Figura 26: Engradamento de madeira. Fonte: https://pselshadai.webnode.com.br/serviços/ (Acessada em 02/09/2018).</i>	56
<i>Figura 27: Sistema de construção de lajes de concreto armado.</i>	57
<i>Figura 28: Tabela comparativa de telhas comuns encontradas no mercado brasileiro. Elaboração própria.</i>	58
<i>Figura 29: Resumo e representação dos perfis das telhas mais comuns observadas em pesquisa de campo e pela internet. Elaboração própria.</i>	59
<i>Figura 30: Esquema técnico da montagem das telhas cerâmicas do tipo colonial.</i>	60
<i>Figura 31: Telha cerâmica com painel solar embutido.</i>	61

<i>Figura 33: Corte de telhas no espigão geralmente realizado com uma serra de corte elétrica (Makita).</i>	62
<i>Figura 32: Acabamento com embolso de cimento no espigão.</i>	62
<i>Figura 34: Tipos de sistemas extensivos convencionais de telhado verde.</i>	67
<i>Figura 35: Sistema Bauder Sedum Blanket®.</i>	68
<i>Figura 36: Cobertura extensiva com o produto Bauder Sedum Blanket.</i>	69
<i>Figura 37: Instalação dos rolos pré vegetados com auxílio de guindastes.</i>	70
<i>Figura 38: Cultivo dos cobertores pré vegetados da Bauder em campos afastados da cidade. ..</i>	70
<i>Figura 39: Cobertura extensiva com o produto ZinCo Sedum Carpet. Terminal Building, Airport Ibiza/Spain.</i>	72
<i>Figura 40: Cobertura extensiva com o produto ZinCo Sedum Carpet. Green Place Office Building, Milano.</i>	73
<i>Figura 41: Cobertura extensiva com o produto ZinCo Sedum Carpet.</i>	73
<i>Figura 42: Sistema Alveolar Médio da Ecotelhado. Fonte: www.ecotelhado.com. (Acessado em 17/10/2018).</i>	74
<i>Figura 43: Camadas do sistema Alveolar Médio da Ecotelhado. Foto tirada no Edifício Firjan RJ, em Botafogo – RJ. Elaboração própria.</i>	75
<i>Figura 44: Aplicação do sistema Alveolar Médio da Ecotelhado. Elaboração própria. Foto tirada no Edifício Firjan RJ, em Botafogo – RJ. Elaboração própria.</i>	76
<i>Figura 45: Sistema modular não mais produzido pela empresa Ecotelhado, feito com bandejas de borrachas reciclada, pode ser aplicado diretamente sobre telhas. Fonte: www.ecotelhado.com. (Acessado em 18/09/2018).</i>	76
<i>Figura 46: Vegetação embutida em telha da empresa holandesa Groendakpan. Fonte: Groendakpan.nl.</i>	77
<i>Figura 47: Imagens do modelo e instalação da Groendakpan, telha desenvolvida pela empresa Groendak. Fonte: Groendakpan.nl.</i>	79
<i>Figura 48: Camadas do sistema proposto por Bruno Rezende. Foto de Bruno Rezende.</i>	80
<i>Figura 49: Evolução e recobrimento da vegetação na residência de Bruno Rezende em Niterói – RJ em um período de 2 anos e meio. Foto: Bruno Rezende.</i>	83
<i>Figura 50: Detalhe do enraizamento da vegetação entre as fibras de poliéster do Bidim RT 16. Elaboração própria.</i>	84
<i>Figura 51: Sistema proposto por Bruno Rezende sobre telhas de amianto na residência de Luís Cassiano na Favela do Arará em Benfica – RJ. Elaboração própria.</i>	84
<i>Figura 52: Variedade de plantas no sistema de Bruno Rezende, dentre elas, plantas suculentas, rupículas e epífitas. Elaboração própria.</i>	85
<i>Figura 53: Teste realizado por Luís Cassiano demonstra a fixação da planta Callisia repens no tecido, mesmo que posicionado na vertical, indicando que a técnica pode ser utilizada em telhados de inclinação acentuada. Também gera ideias para aplicação da técnica em muros verdes.</i>	85
<i>Figura 54: Sistema desenvolvido pela equipe Teto Verde da Enactus UFRJ. Originalmente foi colocado apenas uma camada de banner diretamente sobre a telha, uma camada de manta de drenagem e a vegetação por cima. Elaboração própria.</i>	86
<i>Figura 55: Uma das vertentes da parceria entre Bruno Rezende, Luís Cassiano e a Equipe Teto Verde da Enactus UFRJ, foi a aplicação de cobertura vegetal diretamente sobre o Bidim RT 16 em caixas d'água para atenuar a temperatura da água nos dias de calor no Rio de Janeiro. Elaboração própria.</i>	87
<i>Figura 56: Evolução da vegetação no protótipo da equipe Teto Verde da Enactus UFRJ. Elaboração própria e da equipe Enactus UFRJ.</i>	88
<i>Figura 57: Tabela comparativa entre os similares de sistemas de telhados verdes. Elaboração própria.</i>	89
<i>Figura 58: Substratos testados na pesquisa. Elaboração própria.</i>	99
<i>Figura 59: Sequência das etapas do teste de inflamabilidade. Nota -se que o feltro com resina derreteu e a chama se apagou após alguns segundos. Classificação: Baixo. Elaboração própria.</i>	100

<i>Figura 61: Teste de inflamabilidade da Manta de Drenagem. Classificação: Média. Elaboração própria.</i>	101
<i>Figura 60: Teste de inflamabilidade do Musgo Esfagno. Classificação: Médio. Elaboração própria.</i>	101
<i>Figura 62: Teste de inflamabilidade do Coquim. Classificação: Baixa (Material demorou a pegar fogo e a chama não se espalhou pelo corpo de prova. Elaboração própria.</i>	102
<i>Figura 63: Teste de inflamabilidade do Feltro Agulhado. Classificação: Alta. Elaboração própria.</i>	102
<i>Figura 64: Teste de inflamabilidade da Fibra de Coco. Classificação: Alto. Elaboração própria.</i>	103
<i>Figura 65: Teste de inflamabilidade do Bidim RT32. Classificação: Baixo. Elaboração própria.</i>	103
<i>Figura 66: Tabela que apresenta o grau de inflamabilidade de cada material observado pelos testes.</i>	104
<i>Figura 67: Teste de higroscopia do Feltro com resina. Classificação: Baixa. Elaboração própria.</i>	105
<i>Figura 69: Teste de higroscopia da Manta de drenagem. Classificação: Alta. Elaboração própria.</i>	106
<i>Figura 70: Teste de higroscopia da Fibra de coco. Classificação: Baixa. Elaboração própria.</i>	107
<i>Figura 71: Teste de higroscopia do Coquim. Classificação: Baixa. Elaboração própria.</i>	107
<i>Figura 71: Teste de higroscopia do Bidim RT32. Classificação: Média. Elaboração própria.</i>	108
<i>Figura 72: Teste de higroscopia do Feltro agulhado. Classificação: Média. Elaboração própria.</i>	108
<i>Figura 73: Teste de higroscopia após longo período em contato com a água. Elaboração própria.</i>	109
<i>Figura 74: Tabela com resultados dos testes de grau de higroscopia dos substratos.</i>	110
<i>Figura 75: Tabela com os resultados dos testes e avaliação dos substratos. Elaboração própria.</i>	111
<i>Figura 76: Desenhos iniciais visando a interação entre plantas e telha. Elaboração própria.</i>	113
<i>Figura 77: Sketch da alternativa inspirada nas telhas sanduíche. Elaboração própria.</i>	114
<i>Figura 78: Alternativa telha sanduíche. Elaboração própria.</i>	115
<i>Figura 79: Detalhes da comparação entre a alternativa e telha termo acústica convencional. Elaboração própria.</i>	115
<i>Figura 80: Simulação da aplicação em telhado com engradamento de madeira. Elaboração própria.</i>	116
<i>Figura 81: Possíveis combinações entre materiais para as camadas externas do conjunto e os substratos. Elaboração própria.</i>	117
<i>Figura 82: Esquema com as possibilidades de configuração do sistema com a telha integrada à vegetação. Elaboração própria.</i>	118
<i>Figura 83: Perfil da telha integrada mostrando o acúmulo de água nos vales do módulo. Uma das formas de hidratação das plantas poderia se dar por meio de um sistema de gotejamento com tubos de PVC conectados diretamente à caixa d'água do estabelecimento. Elaboração própria.</i>	118
<i>Figura 84: Modelo simulando o sanduíche de telhas poliméricas com substrato geotêxtil Bidim. Elaboração própria.</i>	119
<i>Figura 85: Falhas no recobrimento vegetal no telhado de Luís Cassiano utilizando a técnica de Bruno Rezende. Elaboração própria.</i>	120
<i>Figura 86: Modelo 3D com vistas em perspectiva e do perfil da peça. Elaboração própria.</i>	121
<i>Figura 87: Sequência de ações para confecção de um modelo de telha sanduíche perfurada nas montanhas com vegetação em contato com o substrato Feltro com resina. Elaboração própria.</i>	122
<i>Figura 88: Primeira versão do modelo 1, com furos nas montanhas e substrato de fibra de coco. Elaboração própria.</i>	123
<i>Figura 89: Variação do modelo 1, estudo realizado utilizando plantas de maior porte. Elaboração própria.</i>	124
<i>Figura 90: Representação em desenho e imagem do modelo 1. Elaboração própria.</i>	125

<i>Figura 91: Plantas enraizadas no Bidim úmido no modelo 1. Elaboração própria.</i>	126
<i>Figura 92: Representação do modelo 2 utilizando feltro com resina como substrato. Elaboração própria.</i>	127
<i>Figura 93: Representação do modelo 3. Elaboração própria.</i>	128
<i>Figura 94: Estudo de forma com origamis do tipo Tessellation: Miura-Ori, Yoshimura e Herringbone. Elaboração própria.</i>	130
<i>Figura 95: Estudo de forma com dobraduras. Elaboração própria.</i>	131
<i>Figura 96: Adaptação de um módulo com dobraduras em diferentes geometrias de telhas. Elaboração própria.</i>	131
<i>Figura 97: Exemplo de freeform origami por Tomohiro Tachi. Fonte: Tomohiro Tachi. https://www.youtube.com/watch?v=T35So_88mio. (Acessado em 23/11/2018).</i>	132
<i>Figura 98: Sketch para a alternativa usando dobraduras em placas de polipropileno. Elaboração própria.</i>	133
<i>Figura 99: Esquema imaginando possível aplicação do módulo para muros e telhados. Elaboração própria.</i>	133
<i>Figura 100: Vista explodida, corte e estudo da forma em papel. Elaboração própria.</i>	134
<i>Figura 101: Vistas do modelo 4, utilizando duas chapas de polipropileno e substrato Coquim. Elaboração própria.</i>	135
<i>Figura 102: Estudo de forma com dobraduras e rasgos Pop-up. Elaboração própria.</i>	136
<i>Figura 103: Crescimento das plantas no modelo 2 após três meses de teste. Elaboração própria.</i>	142
<i>Figura 104: Evolução das plantas no modelo 1 e em teste apenas com uma tira de Feltro com resina, após três meses de teste. Elaboração própria.</i>	143
<i>Figura 105: Aproveitamento das montanhas dos perfis mais comuns de telhas encontradas na pesquisa para o assentamento do módulo. Elaboração própria.</i>	144
<i>Figura 106: Instalação de painel solar sobre telha trapezoidal. Fonte: http://remorsolar.com/wp-content/themes/remor/pdf/en/Slopedroofs.pdf (Acessado em 24/11/2018).</i>	145
<i>Figura 107: Placas fotovoltaicas instaladas sobre telhado de cerâmica. Fonte: https://www.destakjornal.com.br/seu-valor/franquias/detalhe/blue-sol-energia-solar-franquia-busca-novos-franqueados-em-cidades-com-mais-de-600-mil-pessoas (Acessada em 24/11/2018).</i>	146
<i>Figura 108: Instalação de telha solar sobre ripas de madeira. Fonte: https://www.computerworld.com/article/3128255/sustainable-it/rooftop-solar-installation-prices-drop-as-does-payback-time.html (Acessada em 24/11/2018).</i>	146
<i>Figura 109: Telha com placa solar integrada da SOLARTEG®.</i>	147
<i>Figura 110: Primeiras sugestões de forma para a alternativa remetente às placas fotovoltaicas. Elaboração própria.</i>	148
<i>Figura 111: Transição da forma quadrada para uma forma retangular com encaixes baseados nas telhas cerâmicas. Elaboração própria.</i>	149
<i>Figura 112: Modelos 3D visualizando encaixes macho e fêmea do tipo LEGO® entre módulos quadrados de 1m x 1m de tamanho. Elaboração própria.</i>	149
<i>Figura 113: Encaixes laterais e longitudinais mais comuns entre os diversos tipos de telhas. Elaboração própria.</i>	152
<i>Figura 114: Representação dos tipos mais comuns de fixação das telhas no engradamento, podem ser apoiadas nas ripas com "pezinhos" ou aparafusadas com parafusos auto brocantes. Elaboração própria.</i>	153
<i>Figura 115: Croquis do modelo utilizando encaixe lateral com dupla sobreposição de protuberâncias que se encaixam. Elaboração própria.</i>	153
<i>Figura 116: Modelo 3D dos croquis, visando o compartimento em forma de telha com o substrato Bidim e vegetação anexados à forma. Elaboração própria.</i>	154
<i>Figura 117: Alteração das dimensões do modelo para que haja maior área vegetada por módulo. Neste modelo cogitamos um módulo de 0.50m x 1m. Elaboração própria.</i>	154
<i>Figura 118: Encaixe lateral. Elaboração própria.</i>	155

<i>Figura 119: Encaixe longitudinal quando usado como uma telha a ser fixada diretamente sobre as ripas do telhado. Elaboração própria.....</i>	<i>155</i>
<i>Figura 120: Vista em perspectiva da forma, onde pode-se observar a estrutura do compartimento para que esse não deforme com o peso da vegetação e substrato. O modelo foi desenhado para ser injetado com 2mm de espessura em polímero (PP; PVC;HDPE). Elaboração própria.....</i>	<i>155</i>
<i>Figura 121: Telhas de PVC da Fibrarte®. Fonte: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-793386803-telha-pvc-459-x-088-melhor-preco-_JM (Acessado em 30/11/2018).</i>	<i>157</i>
<i>Figura 122: Montagem das telhas de PVC.</i>	<i>157</i>
<i>Figura 123: Vistas em perspectiva e frontal da alternativa selecionada. Elaboração própria. .</i>	<i>158</i>
<i>Figura 124: Estudos sobre o manuseio da peça de 1m x 0.50m sendo utilizada por uma pessoa de 1.80m. Elaboração própria.</i>	<i>161</i>
<i>Figura 125: Maneiras diferentes que duas pessoas podem carregar o módulo de 1m x 0.50m caso fique muito pesado para uma pessoa só. Elaboração própria.</i>	<i>162</i>
<i>Figura 126: Dimensões dos VUC. Fonte: http://rntrc-antt.com.br/noticias/9087 (Acessado em 30/11/2018).</i>	<i>163</i>
<i>Figura 127: Diferença entre ripa e caibro nos engradamentos. As ripas são aquelas transversais à inclinação do telhado e os caibros são as hastes paralelas à inclinação. As ripas ficam sobre os caibros e as telhas são fixadas nelas. Elaboração própria.....</i>	<i>163</i>
<i>Figura 128: Demonstração da fixação do módulo por parafuso e a distância entre as ripas coincidindo com a dimensão da telha. Elaboração própria.....</i>	<i>164</i>
<i>Figura 129: Distância entre as montanhas de telhas diversas.</i>	<i>165</i>
<i>Figura 130: Visualização do sentido de escoamento de água proveniente da chuva ou irrigação. Elaboração própria.</i>	<i>167</i>
<i>Figura 131. Flexão das estruturas em honeycomb. Fonte: https://web.archive.org/web/20100601083938/http://www.hexcel.com/NR/rdonlyres/599A3453-316D-46D6-9AEE-C337D8B547CA/0/HexwebAttributesandProperties.pdf (Acessado em 1/12/2018).</i>	<i>168</i>
<i>Figura 132: Modelo com estrutura em honeycomb. Elaboração própria.</i>	<i>169</i>
<i>Figura 133: Transição da estrutura em honeycomb para a ortogonal, com as linhas da estrutura extrapolando a base plana do painel e se juntando até uma porção dos arcos das montanhas. Elaboração própria.</i>	<i>169</i>
<i>Figura 134: Vistas laterais em corte do aproveitamento da estrutura do módulo para a retenção de água. Elaboração própria.</i>	<i>170</i>
<i>Figura 135: Experimento feito com bandeja de polipropileno com 15mm de altura para observar a retenção de água do compartimento. Elaboração própria.....</i>	<i>171</i>
<i>Figura 136: Ilustração de encaixe do Bidim nos pinos e sua fixação por meio de solda química entra o pino e a tampa. Elaboração própria.</i>	<i>172</i>
<i>Figura 137: Simulação do corte do painel no momento da instalação por meio de uma serra elétrica. Nota-se que se o corte seria dificultado caso tivesse que ser realizado na área onde tem vegetação e Bidim, logo, vê-se a necessidade de destacar o bidim e a vegetação. Elaboração própria.</i>	<i>173</i>
<i>Figura 138: Vista superior do módulo com Bidim anexado em 5 pontos pela superfície do painel. Elaboração própria.</i>	<i>175</i>
<i>Figura 139: Detalhe da fixação do Bidim com parafuso auto brocante. Elaboração própria. ...</i>	<i>175</i>
<i>Figura 140: Medidas do arco que realiza o encaixe lateral. Elaboração própria.</i>	<i>176</i>
<i>Figura 141: Vista em perspectiva do encaixe lateral entre dois painéis e o ponto de contato entre o arco lateral e a parede da estrutura do módulo sobreposto. Elaboração própria.</i>	<i>177</i>
<i>Figura 142: Representação do transpasse em telhas. Elaboração própria.</i>	<i>177</i>
<i>Figura 143: Representação do transpasse (encaixe longitudinal) dos módulos vegetados. Elaboração própria.</i>	<i>178</i>
<i>Figura 144: Diferença entre uma sobreposição simples entre módulos que é suscetível à infiltração da água em ventos fortes e uma sobreposição com encaixe que dificulta a passagem de água por entre os módulos. Elaboração própria.</i>	<i>179</i>
<i>Figura 145: Vista em corte da barreira de água e encaixe longitudinal. Elaboração própria ...</i>	<i>179</i>

<i>Figura 146: Vistas das faces superior e inferior do módulo. Elaboração própria.</i>	180
<i>Figura 147: Vistas em perspectiva e explodida do painel e seus componentes. Elaboração própria.</i>	181
<i>Figura 148: Vista em perspectiva de um quadrante de painéis. Elaboração própria.</i>	182
<i>Figura 149: Sentido e ordem de instalação dos painéis vegetados usados como telha. O sentido é de baixo para cima, da direita para a esquerda. Elaboração própria.</i>	183
<i>Figura 150: Tipo de parafuso que deve ser usado na fixação dos módulos.</i>	184
<i>Figura 151: Simulação do assentamento dos painéis nas ripas do telhado. Elaboração própria.</i>	184
<i>Figura 152: Painel fixado em 4 pontos nas regiões de topo dos módulos. Elaboração própria.</i>	185
<i>Figura 153: Detalhe da fixação da telha por parafuso auto brocante. Elaboração própria.</i>	185
<i>Figura 155: Simulação de um quadrante de painéis instalado em uma telha de fibrocimento. Elaboração própria.</i>	186
<i>Figura 156: Detalhe da fixação do painel nas montanhas da telha. Elaboração própria.</i>	187
<i>Figura 157: Vista em corte do parafuso atravessando o painel e a telha até fixar na ripa do engradamento. Elaboração própria.</i>	187
<i>Figura 158: Mecanismo de instalação de painel fotovoltaico em telhado de telhas cerâmicas. Fonte: https://www.perfilcm.com.br/energia-solar/ceramica2/ (Acessada em 2/12/20/18).</i>	189
<i>Figura 159: Vista em corte do uso do sistema de fixação dos painéis solares para a fixação dos painéis vegetados. Elaboração própria.</i>	189
<i>Figura 160: Simulação da instalação de painéis vegetados em telhado de telhas cerâmicas. Elaboração própria.</i>	190
<i>Figura 161: Representação do sistema por gotejamento, na qual a água pode ser transportada da cisterna até os tubos por bombeamento da água, por gravidade (caso a caixa d'água esteja acima do nível do telhado) ou por pressão ao abrir o registro que liga a cisterna e a tubulação, quando a caixa d'água estiver em altura próxima ao topo do telhado. Elaboração própria.</i>	193
<i>Figura 162: Processo de extrusão da chapa de PVC.</i>	194
<i>Figura 163: Processo de termo formação da chapa de PVC.</i>	194

Sumário

Introdução	15
Capítulo 1 - Considerações pré-projetuais	17
1.1 Apresentação geral do problema projetual.....	18
1.2 Objetivos gerais	21
1.3 Objetivos específicos.....	21
1.4 Justificativa	22
1.5 Metodologia	24
1.6 Público alvo	25
Capítulo 2 – Levantamento, análise e síntese de dados	32
2.1 Breve história da tecnologia	33
2.1.2 Definições e categorias de telhados verdes.....	34
2.2 Elementos relativos a sistemas de coberturas verdes.....	41
2.2.1 Camadas existentes em sistemas de telhado verde convencionais	42
2.3 Fatores determinantes para o design, instalação e manutenção de um sistema de telhado verde.....	50
2.4 Análise do mercado.....	64
2.4.1 Pontos críticos referentes a indústria de telhados verdes	65
2.5 Análise de similares	66
2.5.1 Sistemas convencionais.....	67
2.5.2 Sistemas experimentais	77
2.5.3 Considerações sobre a análise de similares.....	90
2.6 Requisitos e restrições a partir da pesquisa de similares.....	91
Capítulo 3 - Desenvolvimento de Soluções Projetuais	94
3.1 Pesquisa de campo acerca de materiais relacionados ao produto.....	94
3.2 Desenvolvimento de alternativas projetuais	112
3.2.1 Módulo de telhado verde integrado à telha.....	112
3.2.2 Módulo para Retrofit de telhados existentes	130
Capítulo 4. Definição do Produto Final	160
4.1 Desenvolvimento e detalhamento da alternativa selecionada	160
4.2 Instalação do produto em diferentes aplicações.....	182
4.3 Manutenção e Irrigação	191
4.5 Análise de custo.....	195
Conclusão	196
Referências bibliográficas	197
Desenho técnico	199

Introdução

O crescimento exponencial da população mundial resultou na concentração demográfica em diversos países. No Brasil, as cidades com maior densidade demográfica são respectivamente: Distrito Federal (525,86 hab/km²), Rio de Janeiro (381,87 hab/km²), e São Paulo (181,67 habitantes/km²), nas estimativas do IBGE para o ano de 2017. Como consequência do crescimento urbano, áreas vegetadas são reduzidas a fim de acomodar habitações e comércio, gerando ilhas de calor e áreas concentradoras de poluição em diversos níveis. Em favelas e centros urbanos de regiões tropicais com maior acúmulo de edificações de concreto, pavimentação e circulação de veículos, o efeito é intensificado, atingindo temperaturas extremas e insalubres às condições humanas. Somam-se a isso, a poluição do ar pelo acúmulo de gás carbônico na atmosfera e a interferência das obras artificiais no ciclo de águas e sua drenagem natural que aumentam os índices de enchentes em metrópoles.

A fim de conter ou reverter esse cenário de declínio ambiental, algumas iniciativas de reflorestamento já fazem o uso de tecnologias como muros verdes, hortas urbanas e instalação de coberturas vivas. Tais empreendimentos são de extrema importância, porém o investimento e engajamento público e privado ainda não são suficientes para tornarem cidades como o Rio de Janeiro, habitáveis em termos de saúde pública.

Se considerarmos a área total de superfícies de telhados e a aparente inércia dos mesmos, cuja função principal é cobrir uma elevação e a isolar de intempéries, podemos perceber o potencial inexplorado da utilização dessas estruturas para a natureza, pois após a construção, raramente um telhado é potencializado ou ressignificado. A partir dessa premissa, esta pesquisa se orienta nas técnicas de recobrimento superficial de edifícios, residências e galpões de fábrica com vegetação, pois essas já provaram reduzir até 6°C (CATUZZO, 2013)¹ da temperatura interior de um ambiente, promovendo conforto térmico para os frequentadores do local, possibilitando economia energética e equilíbrio do microclima local, viabilizando diversos efeitos secundários benéficos à saúde física e mental das pessoas, fauna e flora.

¹ CATUZZO, H. **Telhado Verde: impacto positivo na temperatura e umidade do ar. O Caso da Cidade de São Paulo.** 2013. 206 f. Tese (Doutorado) – Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

Este projeto destina-se à pesquisa dos aspectos relativos às tecnologias de telhados verdes, assim como na elaboração de um novo produto para se obter os mesmos ou até melhores resultados obtidos pelas poucas técnicas existentes no crescente setor de restauração ambiental em regiões urbanas.

Capítulo 1 - Considerações pré-projetuais

Capítulo 1 - Considerações pré-projetuais

Este capítulo apresentará ideias iniciais do projeto de graduação, esclarecendo as motivações, objetivos e estruturação na qual o mesmo se orienta.

1.1 Apresentação geral do problema projetual

Atualmente sofremos com contaminações de diferentes meios, seja pelo acúmulo de gás carbônico e outras partículas tóxicas no ar, pelo ofuscamento visual e sonoro provocado pela enorme quantidade de matéria artificial e pela impureza dos solos, lençóis freáticos e vias hídricas ocasionadas por descarte indevido de resíduo industrial e doméstico. Os fatos apresentados configuram a degradação dos ambientes naturais e urbanos, ferindo fauna e flora, tendo como principais consequências as mudanças climáticas.

A formação de aglomerados urbanos contribui para o aumento da temperatura local e global que pode ser observada através de um estudo realizado em Recife, Pernambuco, representado na Figura 1. O acréscimo da temperatura é a principal problemática a ser abordada neste trabalho. O papel benéfico da natureza nos cenários rurais e urbanos é evidente, restaurando-a ou maximizando suas proporções, inúmeras adversidades secundárias podem ser evitadas ou atenuadas, como poluição visual, enchentes, estado psicológico da população instável e fragilizado, altas temperaturas e insuficiência de sistemas de escoamento e drenagem das águas pluviais.

A fim de combater os efeitos diretos das ilhas de calor, os governos e a sociedade podem adotar medidas paliativas ou duradouras. Por exemplo, numa residência, é comum a utilização de aparelhos de ar condicionado e ventiladores para refrescar o ambiente em que vivem, o mesmo pode ser observado numa fábrica situada em um grande galpão com telhas metálicas que irradiam a energia oriunda do sol para o interior da construção, causando mal-estar aos funcionários e má produtividade. Tais medidas representam um gasto de energia muito grande e não atacam a raiz do problema. Em maior escala, existem ações públicas e privadas que visam reflorestar pontos estratégicos de uma cidade, com a criação de hortas urbanas públicas ou mutirões para plantio de árvores. Essas ações são geralmente organizadas por ONGs (Organizações Não Governamentais).

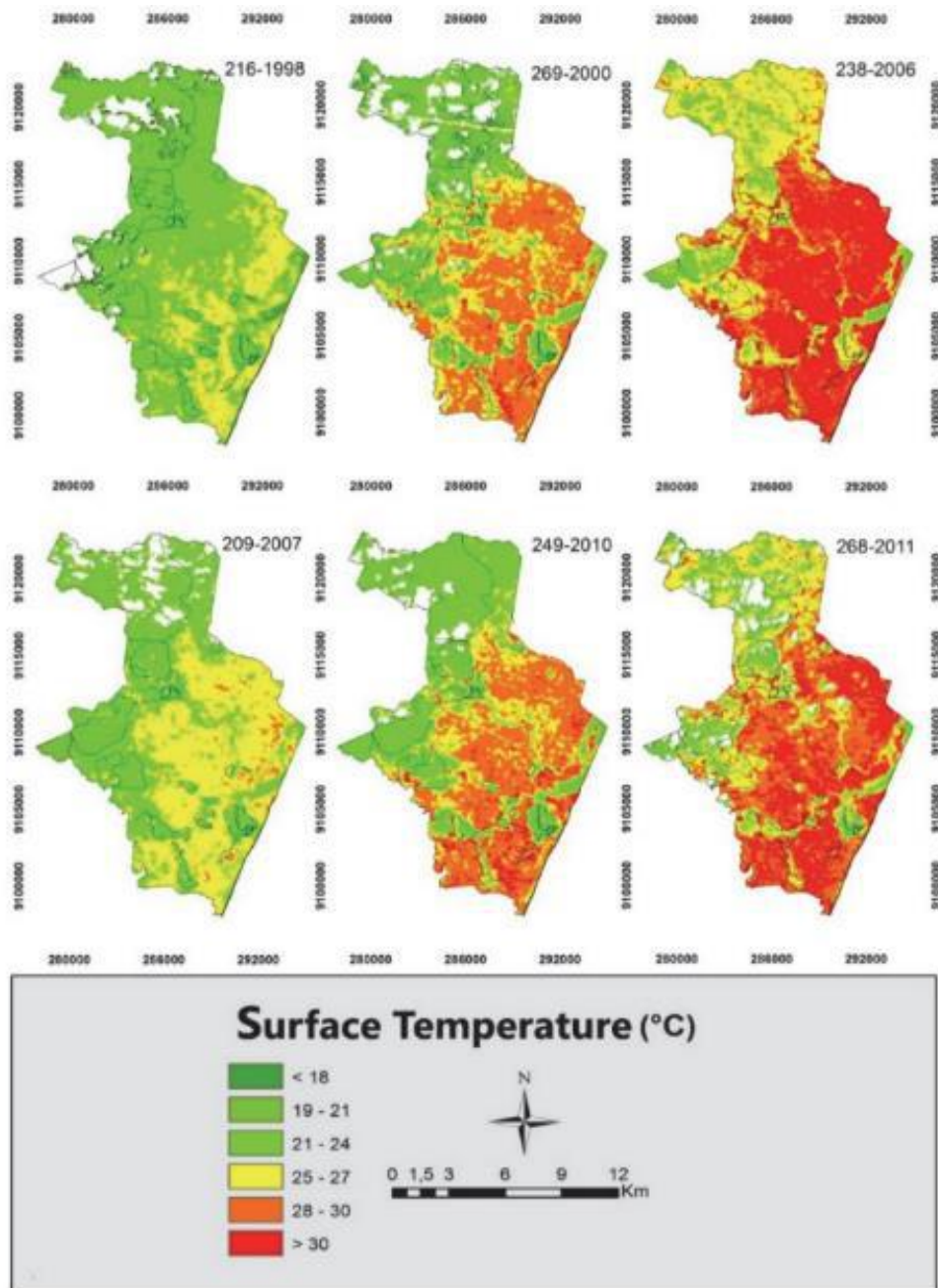


Figura 1: Evolução do efeito das Ilhas de Calor em Recife, PE, entre 1998 e 2011.

Fonte: (MOREIRA, 2014. Pág.78)²

Nos últimos 30 anos, aflorou-se uma tendência estimulada pela arquitetura, paisagismo e design, na qual a inserção de áreas vegetadas em ambientes internos e externos é interpretada como um elemento de luxo e ostentação (Figura 2), visão essa que há pouco tempo atrás era repelida uma vez que a migração rural-urbana teve como efeito o afastamento da natureza ao ambiente citadino.

² MOREIRA, E. (2014). **Balço de energia e evapotranspiração na cidade do Recife – PE por sensoriamento remoto.** Tese de Doutorado – Departamento de Ciências Geográficas, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

No âmbito de recobrimento vegetal, destacaram-se a técnicas de telhados verdes após seu *boom* na década de 70 pela criação de sistemas industriais alemães que deram origem a derivações com maior aplicabilidade no mercado europeu.

Contudo, o conhecimento acerca das técnicas de telhados verdes em si, é recente e pouco disseminado mundialmente. As empresas existentes oferecem basicamente os mesmos produtos daqueles da década de 70 e seus sistemas possuem diversas limitações que impedem a expansão da tecnologia, principalmente por apresentarem alto custo, peso e complexidade.

“Cabe ressaltar que, em países europeus e em algumas cidades dos Estados Unidos e da Argentina, existem leis, incentivos fiscais e financeiros dados às construções que utilizam este tipo de estrutura. O poder público tem um papel de extrema importância, uma vez que em nossas cidades é cada vez mais necessário melhorar a qualidade socioambiental do meio urbano.”

(CATUZZO, 2013)³

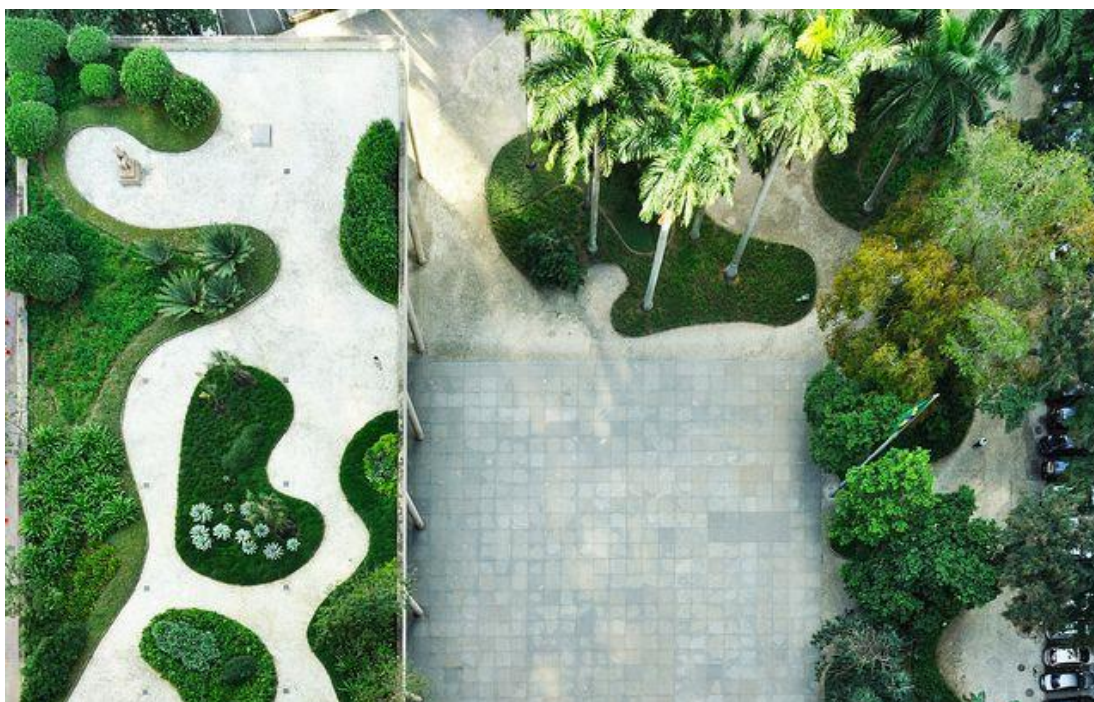


Figura 2: Telhado verde intensivo no Palácio Gustavo Capanema no Rio de Janeiro. Foto: <https://www.flickr.com/photos/fadb/7921064536/> (Acessado em 20/11/2018).

³ CATUZZO, H. **Telhado Verde: impacto positivo na temperatura e umidade do ar. O Caso da Cidade de São Paulo.** 2013. 206 f. Tese (Doutorado) – Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. (Fonte acessada em 26/08/2018: <http://www.usp.br/agen/?p=162345>)

1.2 Objetivos gerais

É de meu interesse propor um produto que atenda demandas reais da população e do meio ambiente, amenizando um problema comum a todos, atuando nos ambientes externos e internos de imóveis públicos e privados, beneficiando as pessoas que os habitam. O produto deverá mitigar as questões levantadas pelos tópicos anteriores, sendo um sistema vegetado que se adapte a diferentes tipografias de coberturas, podendo ser utilizado como modernização de telhados já existentes (*retrofit*) ou como cobertura em forma de telha para edificações ainda não construídas ou que terão seu telhado substituído.

A geometria do objeto e sua composição material devem realizar o papel das camadas necessárias para um sistema de recobrimento vegetal seguro e eficiente, considerando o crescimento e vivência das plantas, irrigação, drenagem, impermeabilização e a proteção contra possíveis avanços danosos de raízes à estrutura na qual o módulo será fixado. Isso é necessário para que haja praticidade, integridade e modularidade nos sistemas, pois a instalação de um teto verde convencional ainda depende de reforço estrutural e complexa lógica construtiva.

1.3 Objetivos específicos

- Desenvolver um produto de menor custo em relação as técnicas existentes e também de menor complexidade, a fim de abranger maior gama de construções sem que haja necessidade de reforço estrutural nos telhados.
- Desenvolver um sistema resumido a um módulo, integrando o sistema de cobertura do imóvel com a vegetação pré-cultivada, que não cause infiltrações e não precise de reforços estruturais, assim como a exigência mínima de manutenção e irrigação.
- Gerar um produto modular para que o mesmo possa ser desinstalado ou reparado com facilidade.

1.4 Justificativa

Estamos sofrendo com os impasses ambientais expostos anteriormente e o mundo agora mais do que nunca deverá focar nas soluções de problemas comuns a todos. Observando as ações ambientalistas que propõem a recomposição parcial do meio ambiente por meio de estruturas como telhados e muros verdes, observa-se a escassez de pessoas físicas e jurídicas que propõem novas abordagens e produtos para a vegetação urbana. Exceto alguns países na Europa e em países como Canadá e Estados Unidos, a disseminação dos telhados verdes é mínima, isso se deve as limitações de custo e complexidade dos sistemas atuais, à falta de incentivo do governo e principalmente ao receio por parte dos integrantes da sociedade ao se depararem com uma tecnologia recente e inexplorada. Atualmente as empresas registram sistemas que pouco diferem entre si, ou seja, poucas pessoas físicas ou jurídicas tentam fazer algo diferente dos sistemas convencionais. Por isso, vejo a necessidade de inovar e testar novas soluções, a fim de relatar o que pode ou não ser feito na prática para concretizar o propósito e os benefícios dos telhados verdes expressos na Figura 3.

Uma motivação simbólica a se pensar, é que ao observarmos as grandes cidades vistas de cima, podemos notar uma discrepância entre a quantidade de área verde e a quantidade de área cinza, concretada e morta. Nota-se uma enorme área de telhados e muros que apesar de estruturarem nossas casas e ambientes de trabalho e comércio, não realizam funções secundárias, apenas irradiam o calor contribuindo para o mal-estar das pessoas que residem ou circulam por aqueles locais. Imagine que temos todo esse espaço, basicamente pronto para ser explorado e usado como corredor ecológico onde pássaros e insetos possam migrar entre parques, criando uma rede e ponte de ligação e estímulo da natureza, restaurando e enriquecendo aos poucos a fauna e flora. Sendo assim, devemos identificar a inércia da estrutura urbana e enxergar o potencial projetual existente em sua própria geometria e materialidade.

EFEITOS DE UM TELHADO VERDE

Ecológicos

Retardamento do escoamento de águas pluviais

Promoção de habitats, fauna e flora

Absorção de Gás Carbônico, poluentes do ar e poeira

Criação de pontos de conexão entre espaços verdes na cidade

Redução do efeito urbano de Ilhas de Calor

Técnicos

Proteção da superfície do telhado de radiação ultra-violeta e possíveis danos mecânicos

Isolante Térmico / Redução da temperatura interna

Isolante Acústico

Financeiros

Atração para clientela, caso seja instalado em estabelecimentos comerciais

Redução de gastos com Ar condicionado e Ventilação, devido a redução de temperatura em dias de calor

Possibilidade de plantar e comercializar alimentos ou plantas ornamentais

Amenidades

Efeitos psicológicos positivos ao ter maior contato com a natureza

Arquitetura pode se misturar e integrar com as redondezas

Gera função a lajes esteticamente desagradáveis e sem função

Figura 3: Benefícios de um telhado verde. Elaboração própria, baseada no artigo de Jacklyn Johnston & John Newton. Building Green. A guide to using plants on roofs, walls and pavements. Londres, 2004.

1.5 Metodologia

Com o intuito de estruturar a pesquisa, as premissas estabelecidas e descritas nos tópicos anteriores foram consultadas e modificadas no decorrer do desenvolvimento do projeto para se obter um produto final coerente com aquilo que é proposto. Simultaneamente, uma análise de similares de telhados verdes e seu mercado foi realizada no Capítulo II a fim de se obter um panorama geral das tecnologias existentes e como estas são aplicadas em diferentes finalidades, comparando-as e atribuindo pontos positivos e negativos a cada uma delas.

Feita a análise de similares e de mercado através de consultas com profissionais da área, em sites de empresas de telhados verdes assim como pesquisas de campo em bairros na zona sul e comunidades cariocas, observou-se a viabilidade e demanda para este tipo de negócio e foi possível pesquisar mais a fundo as variáveis que determinam e permeiam projetos de natureza urbana como, por exemplo, fatores climáticos e o tipo de vegetação específicos para a região de clima tropical do Rio de Janeiro e suas altas temperaturas, assim como o estudo das geometrias de telhados e tipos de telhas e materiais existentes no mercado.

A partir dos dados coletados, foi possível definir o que precisa ser resolvido e o que pode ser proposto dentro do escopo examinado. Essas informações foram reduzidas em uma lista de requisitos e restrições do projeto que nortearam o desenvolvimento de alternativas e soluções detalhadas no Capítulo III, onde foram elaborados desenhos à mão, modelos tridimensionais (CAD) assistidos por computador, *mock-ups* e testes das melhores alternativas projetuais, envolvendo a interação com as plantas e intempéries, simulando a situação real a qual o produto será submetido.

As pesquisas e desenvolvimentos das soluções foram orientadas e consultadas por profissionais da área de telhados verdes, botânica e *design*, colegas orientandos e outros personagens futuramente apresentados que agregaram muito conhecimento e conteúdo ao projeto. Durante a fase de projeção, foi utilizado o método *Hands-On*, no qual estimula-se o contato físico direto com os produtos e materiais disponíveis em comércio ou na natureza, que permite a realização de uma caracterização desses materiais para definir os pontos relevantes para o desenvolvimento mais consciente de alternativas projetuais.

A partir dos testes e modelos, uma análise comparativa permitiu a escolha da solução mais promissora que fora elaborada e detalhada no Capítulo IV, junto com sua apresentação e ambientação.

1.6 Público alvo

Para projetar um sistema de telhado verde é fundamental conhecer o tipo de consumidor que pode se interessar por tal produto. Mesmo que os problemas sejam comuns a todos e ao meio ambiente, como poluição do ar e temperaturas excessivas, quem se disporá a adquirir o produto telhado verde, possui características que devem ser consideradas a fim de traçar o perfil do consumidor mais propenso a comprar o produto. Sendo assim, a composição estética, simbólica, e material do objeto deve ser determinada pelo perfil do consumidor.

A premissa de que exista um design para todos, universal, é equivocada, pois existem inúmeras variáveis específicas a cada grupo de consumidores, que moldam o design de produto como, por exemplo, a identificação cultural. Conforme o produto é desenhado da maneira mais generalizada, a conexão emocional ou compatibilidade econômica com o consumidor é enfraquecida, fazendo com que o produto não seja identificado por nenhum público. Contudo, como o presente projeto está inserido na tendência de restauração ambiental, conseqüentemente este pretende gerar impactos positivos reais ao meio ambiente e à população que o habita. Logo, sabendo que tentar projetar um produto para todos é uma ação arriscada, para que haja maior disseminação do produto é preciso destinar o objeto final ao maior número de consumidores dentro de determinado grupo socioeconômico. Para que isso ocorra se faz necessário mapear qual classe econômica é a mais populosa e conseqüentemente, a maior detentora de propriedades. Conhecendo esse grupo, é necessário avaliar seu poder aquisitivo e seus gastos com a construção e projetos arquitetônicos - paisagísticos de suas propriedades.

De acordo com o Censo 2010 – Classificação e características dos espaços rurais e urbanos do Brasil, realizado pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística)⁴, 76% da população brasileira vive em áreas urbanas, afirmando que a população do país é essencialmente urbana e por conseguinte, sofre os efeitos das ilhas de calor e as pessoas pertencentes a essa porcentagem debitam de suas rendas mensais os valores de conta de luz e IPTU (Imposto Predial e Territorial Urbano). Com isso conclui-se que há maior necessidade de tal setor populacional adotar medidas favoráveis ao ambiente que vivem, como o emprego de coberturas verdes.

⁴ <http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2017-07/nova-proposta-de-classificacao-territorial-do-ibge-ve-o-brasil-menos-urbano>

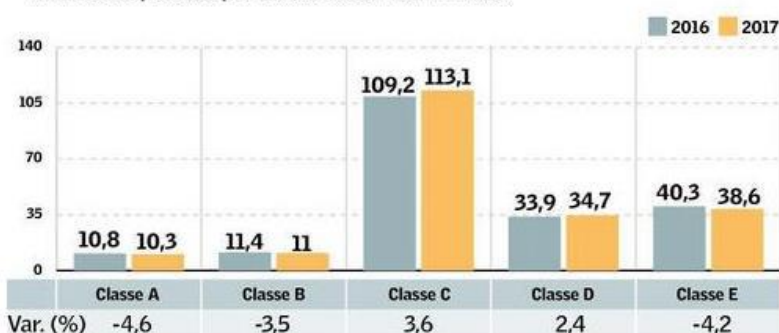
Sabendo da proporção demográfica entre áreas urbana e rural, é relevante conhecer a classe econômica mais populosa e seu poder aquisitivo, avaliando a viabilidade financeira para com o consumo de tecnologias verdes. De acordo com estudos do Bradesco e Consultoria LCA realizados em 2017, a classe econômica brasileira mais populosa é a classe C com 113,1 milhões de pessoas (aproximadamente 54% da população total do país), seguido da classe D com 34,7 milhões de pessoas, pelo critério de renda familiar nas quais as mesmas obtêm de R\$1.819 - R\$7.7278 e R\$1.100 - R\$1.819, respectivamente (*apud* BRADESCO E LCA)⁵.

Mobilidade social

Declínio das classes A e B no ano passado

Bradesco

Número de pessoas por classe social - em milhões



Critério renda familiar total

Classe A	R\$ 11.001 ou mais
Classe B	De R\$ 7.278 a R\$ 11.001
Classe C	De R\$ 1.819 a R\$ 7.278
Classe D	De R\$ 1.100 a R\$ 1.819
Classe E	Até R\$ 1.100

LCA

Número de pessoas por classe social - em milhões



Critério renda familiar per capita

Classe A	Acima de R\$ 3.566
Classe B	De R\$ 1.009 a R\$ 3.566
Classe C	De R\$ 369 a R\$ 1.008
Classe D	De R\$ 179 a R\$ 368
Classe E	Até R\$ 178

Fontes: Bradesco e LCA

Figura 4: Índices de mobilidade social brasileira em 2017. Fonte: *apud* Bradesco e LCA.

Outro levantamento elaborado pelo Boa Vista SCPC (*apud* Serviço Central de Proteção ao Crédito)⁶ diz respeito à relação entre a renda e os gastos com consumo das classes econômicas brasileiras. Esses dados são importantes para validar o impacto positivo que um telhado pode fazer na redução de gastos com energia, uma vez que boa

⁵ <http://www.vermelho.org.br/noticia/310924-1>

⁶ <http://g1.globo.com/economia/seu-dinheiro/noticia/2016/03/contas-de-agua-luz-e-telefone-sao-vilas-do-orcamento-domestico.html>. (Acessado em 18/10/2018).

parte desse gasto provém do uso de ar condicionado e ventiladores para mitigar as ondas de calor típicas do clima tropical brasileiro. Um relatório elaborado em maio de 2018 pela Agência Internacional de Energia (IEA)⁷, consta que atualmente, cerca de um quinto do consumo de eletricidade em edifícios está ligada ao uso do ar condicionado e ventiladores.

“As contas de luz pesaram principalmente no orçamento dos consumidores das classes D/E (41%). O impacto foi sentido por 34% dos entrevistados na classe C e por 29% nas A/B”

Dado extraído pelo Boa Vista SCPC

Outra análise comparando o poder de compra e gastos com consumo de cada classe feita pela Datafolha em 2012, demonstra que em 2010, o potencial de compra de bens e serviços pela classe C, ultrapassou as classes A e B, essa tendência segue até os dias de hoje, fazendo com que a classe C (classe média) seja a classe na qual espera-se maior receptividade ao produto pretendido.

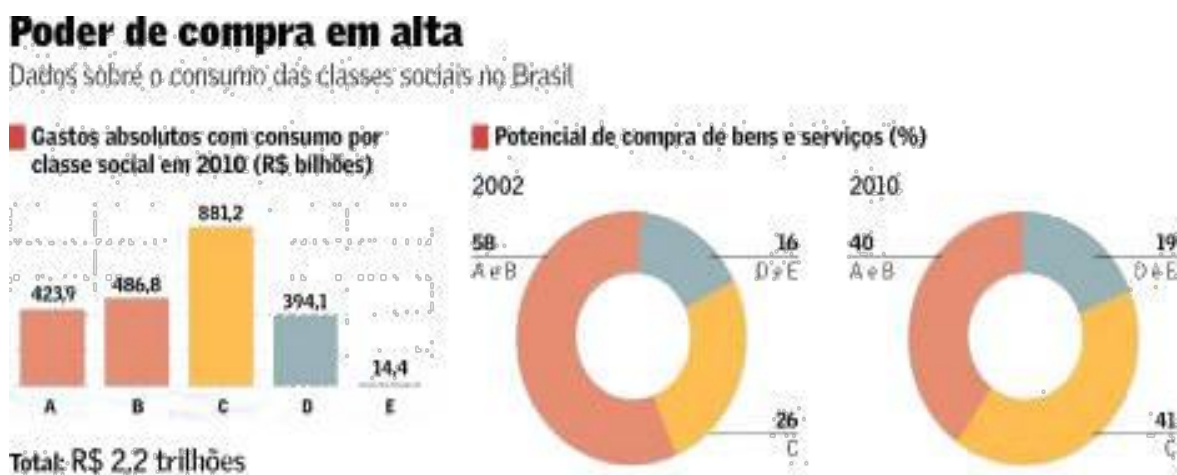


Figura 5: Índices de poder de compra das classes sociais no Brasil. Fonte: DataFolha.

⁷ ><http://www.observatoriodoclima.eco.br/consumo-de-energia-partir-de-modelos-de-ar-condicionado-deve-triplicar-ate-2015/>. (Acessado em 19/10/2018).

Focando a pesquisa para o setor de construção civil, na qual as tecnologias de telhados verdes estão inseridas, o instituto Data Popular⁸ mostrou que na classe C, 67,2% dos gastos com habitação se concentraram em reformas na própria residência.

Um estudo realizado pela Consultoria PINI dispõe sobre os custos de um projeto de telhado, somando material e mão de obra, em três estados brasileiros. Pela figura 6, observa-se que em São Paulo, o custo varia entre R\$17,51 – R\$97,37/m², considerando o uso de modelos de telhas cerâmicas, metálicas, plásticas e de fibrocimento. Avaliando apenas o custo das telhas, os preços oscilam entre R\$13,65 – R\$93,51/m². Esses valores são importantes para que o produto de telhado verde não se distancie desses intervalos, sabendo que tais valores são definidos apenas pelos telhados convencionais, logo, um telhado verde que possui mais funções e benefícios e que esteja na mesma faixa de custo, será muito mais vantajoso para o consumidor devido ao melhor custo-benefício.

⁸ ><https://www.cartacapital.com.br/politica/-e2-80-9cpuxadinho-e2-80-9d-eleva-gastos-das-familias-com-moradia>. (Acessado em 19/10/2018).

	PREÇOS R\$			EXEMPLO UTILIZANDO PREÇOS DE SP			
	SP	PR	AM	EXPLICAÇÃO	QUANT.	SP	TOTAL
Estrutura de madeira para telha ondulada de fibrocimento, alumínio ou plástica, vão de 10 m – m ²							
MAT	51,40	37,54	13,75	Opção de estrutura	43,42	51,35	2.229,62
MO	17,57	16,80	13,93			12,22	530,59
TOTAL	68,97	54,34	27,68			63,57	2.760,21
Telhas							
Telha cerâmica tipo paulista, inclinação 35% – m ²							
MAT	26,41	26,27	26,39	Área do telhado	43,42	24,32	1.055,97
MO	30,59	29,09	24,03			21,09	915,73
TOTAL	57,00	55,36	50,42			45,41	1.971,70
OUTRA OPÇÃO – Telha cerâmica tipo colonial, inclinação 35% – m ²							
MAT	22,49	22,41	7,53	Opção de telha	43,42	4,09	177,59
MO	19,59	18,62	15,39			13,50	586,17
TOTAL	42,08	41,03	22,92			17,59	763,76
OUTRA OPÇÃO – Telha de fibrocimento, perfil ondulado, e = 6 mm, inclinação 27% – m ²							
MAT	13,65	12,94	17,89	Opção de telha	43,42	18,23	791,55
MO	3,86	3,70	3,06			2,69	116,80
TOTAL	17,51	16,64	20,95			20,92	908,35
OUTRA OPÇÃO – Telha de PVC rígido, perfil ondulado, inclinação 27% – m ²							
MAT	57,64	57,44	57,64	Opção de telha	43,42	57,64	2.502,73
MO	3,86	3,70	3,06			2,69	116,80
TOTAL	61,50	61,14	60,70			60,33	2.619,53
OUTRA OPÇÃO – Telha de alumínio envernizada ou pintada, perfil trapézoidal, e = 0,6 mm							
MAT	39,93	39,51	39,93	Opção de telha	43,42	46,17	2.004,70
MO	5,27	4,87	4,27			3,67	159,35
TOTAL	45,20	44,38	44,20			49,84	2.164,05
OUTRA OPÇÃO – Telha metálica termoacústica – m ²							
MAT	93,51	93,51	93,77	Opção de telha	43,42	93,51	4.060,20
MO	3,86	3,70	3,06			2,69	116,80
TOTAL	97,37	97,21	96,83			96,20	4.177,00

Figura 6: Preços por metro quadrado utilizando telhas convencionais.

Fonte: au17.pini.com.br/arquitetura-urbanismo/188/artigo155952-1.aspx.

Ressalta-se que o custo de instalação de um telhado verde no Brasil é em média R\$147,49/m² (ROSSETI et al., 2013)⁹. Esse valor está claramente acima do valor de um telhado convencional, o que é aceitável uma vez que um telhado verde possui mais benefícios do que um telhado convencional, porém, para que haja maior adequação às

⁹ ROSSETI, K. et al. Abordagem sobre as barreiras e benefícios da utilização do sistema de telhado verde em áreas urbanas de regiões tropicais. Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research médium, pág. 55-77. 2013.

condições financeiras da classe média brasileira (classe C), é preciso reduzir esse valor ou enfatizar que um telhado verde, por seus atributos, é financeiramente mais proveitoso para o consumidor, devido à redução com gastos energéticos e prolongamento da vida útil do telhado, uma vez que esses têm sua vida útil limitada pela ação do clima sobre eles (CORDONI, A. 2012)¹⁰.

Inicialmente, este projeto pretendia atender às necessidades dos residentes de favelas brasileiras, pois esses sofrem em maior intensidade com o pagamento das contas de luz e os efeitos das ilhas de calor como notado através de pesquisa de campo nas comunidades cariocas Favela do Arará e Vila Canoas no período em que o autor desse projeto participou da organização Enactus UFRJ que desenvolve empreendedorismo social nessas comunidades. Na pesquisa de campo foi observado que as principais coberturas nessas comunidades são lajes concretadas, seguidas de telhas metálicas e fibrocimento e os telhados em sua maioria possuem apenas uma água, ou seja, um único sentido de inclinação. Porém, durante visitas realizadas a Luís Cassiano, morador da Favela do Arará, em Benfica – RJ, foram debatidas e conversadas as questões técnicas e de hábitos sociais implicantes ao tema, como a finalidade das coberturas, que no caso das lajes concretadas, é utilizada como área de convivência, lazer ou como espaço para funções secundárias, como estender roupas no varal; a questão da migração da população da área rural para os centros urbanos que teve como consequência o afastamento da natureza como elemento próximo às pessoas e ao ambiente em que vivem, decorrente da falta de integração da vegetação nos meios urbanos e em tese, isso desencorajou a população a plantar dentro ou fora dos imóveis. Por outro lado, surge uma tendência arquitetônica/paisagística voltada à sustentabilidade e à estética, que reaproxima a natureza aos edifícios urbanos (PELEGRINO, P. 2014)¹¹.

Tendo em vista a posição econômica e cultural das classes, foi definido o público alvo de classe média, porém isso não significa uma restrição aos consumidores do produto, e sim, um direcionamento. O aspecto econômico pode limitar de fato a compra de um telhado verde por parte das classes D/E, porém, existem casos como os da empresa Insolar®, que instala painéis solares em favelas como o Morro Santa Marta em Botafogo, RJ, através de um modelo de negócios por financiamento cruzado. Isso significa que não

¹⁰ CORDONI, A. **Telhados Verdes: Análise comparativa de custo com sistemas tradicionais de cobertura**. Monografia (Construções Sustentáveis). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba. 2012.

¹¹ PELEGRINO, P. **Prédios Vivos** >http://www.saopaulo.sp.leg.br/apartes-antiores/wp-content/uploads/sites/9/2017/03/revista_apartes_MAI14_10a14.pdf. (Acessado em 19/10/2018).

se deve eliminar a ideia de que o público de baixa renda possa se interessar ou adquirir um produto teoricamente inacessível não destinado inicialmente àquele grupo.

Ainda permeando as classes média e baixa, o público não se resume a proprietários(as) de residências domésticas, mas abre espaço também à donos de fábricas, escolas, e galpões, estabelecimentos em que muitas vezes o consumidor e usuários são beneficiados de diferentes maneiras, como galpões industriais onde o proprietário poderá reduzir seus gastos com energia, aumentando o lucro da empresa, e os funcionários que trabalham no galpão se beneficiarão com a diminuição da temperatura interna e ruídos do ambiente.

É importante também considerar aspectos técnicos do imóvel, como a presença ou possibilidade de instalação de sistemas de irrigação e drenagem, resistência mecânica da superfície onde o consumidor pretenderá aplicar a cobertura vegetal e acesso para instalação ou manutenção do telhado. É igualmente necessária uma inclinação mínima da cobertura para permitir o escoamento de água depositada pela irrigação ou pela chuva. E claro, considerar as necessidades básicas das plantas que serão plantadas no sistema como, por exemplo, a incidência de luz solar sobre a cobertura.

Capítulo 2 – Levantamento, análise e síntese de dados

Capítulo 2 – Levantamento, análise e síntese de dados

Neste capítulo são apresentados e explicados os principais aspectos que informam o desenvolvimento deste projeto. Foram analisados principalmente dados relativos a telhados verdes, devido à maior quantidade de informação disponível na literatura.

2.1 Breve história da tecnologia

AS CAMADAS DE UM TELHADO VERDE

As coberturas verdes de hoje possuem raízes pré-históricas com os diversos experimentos de povos pelo mundo com a naturalização de seus telhados, como os povos nórdicos há mais de 2.000 anos atrás, que consolidaram os tetos verdes de forma rústica para proteção das baixas temperaturas. Porém, os avanços tecnológicos e revoluções industriais da era moderna fizeram com que as técnicas ficassem mais eficientes e, em sua maioria, de maior custo ou complexidade se comparadas com as do passado. Na evolução dessa tecnologia, destaca-se o papel da Alemanha no desenvolvimento de telhados verdes em larga escala em dois períodos distintos. O primeiro período vai de 1880 a 1930 com os "TPGs" (*Tar Paper Greenroofs*), tipo de telhado impermeabilizado com alcatrão. Foram inicialmente instalados em conjuntos residenciais para operários devido à necessidade de economia de combustível para aquecimento e reaproveitamento da água de chuva (SILVA, B, 2013)¹².



Portanto, o real avanço dessa tecnologia tomou seu lugar na década de 60 (1960) na Europa, onde a Alemanha teve papel importante no desenvolvimento das estruturas "MEG" (*Modern Extensive Greenroofs*). Esta se tornou a tecnologia mais usada mundialmente em termos de metros quadrados instalados (KÖHLER & CLEMENTS, 2013)¹³ e consiste de um conjunto de camadas sobrepostas instaladas sobre um telhado para suportar vegetação de portes variados (KALUVAKOLANU, 2006)¹⁴, sendo essa destinada a diversas finalidades arquitetônicas, artísticas e cientificamente experimentais, a fim de reduzir os efeitos negativos da atividade humana ao meio ambiente.

¹² SILVA, B. **Telhados verdes em clima tropical: Uma nova técnica e seu potencial de atenuação térmica**. 2016. Tese (Doutorado) – Programa de Engenharia Civil, UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro, 2016.

¹³ KÖHLER, M.; CLEMENTS, A. M. **Green Roof Infrastructures green roof infrastructures in Urban Areas**. New York. 2013.

¹⁴ KALUVAKOLANU, P. **History of Greenroofs**. Dezembro, 2006.

>https://www.ltu.edu/water/greenroofs_history.asp (Acessado em 20/11/2018).

Figura 7: Identificação de camadas do sistema MEG extensivo.

Infográfico de Carolina Daffara Ferreira.

Fonte: <https://amandafortearquitetura.com/2018/04/10/telhado-verde-vantagens-e-desvantagens/> (Acessado em 20/11/2018).

2.1.2 Definições e categorias de telhados verdes

Este tópico apresentará fundamentos e elementos básicos das tecnologias de telhados vivos e posteriormente uma análise comparativa entre as principais técnicas, empresas pioneiras e consolidadas na área e experimentações avulsas que prometem novas abordagens sobre o assunto, como a técnica desenvolvida pelo botânico Bruno Rezende no programa de Doutorado em Engenharia Civil pela Coppe/UFRJ, onde ele aplicou sua inovação em residências de baixa renda na comunidade do Arará, em Benfica, RJ, apresentando uma técnica de menor custo, peso e risco às estruturas de telhados, em comparação com as técnicas existentes do mercado.

Resumidamente, a ideia principal de um telhado verde é a presença de vegetação em cima de uma cobertura de um imóvel. Esse atributo pode ocorrer de maneira natural, como folhas de uma árvore que caem aleatoriamente sobre um telhado e, com o tempo, agentes naturais, como pássaros e insetos enriquecem o substrato e ali desenvolve-se uma camada de vegetação. Por outro lado, esse fenômeno pode se dar de maneira artificial, quando o ser humano desloca e cultiva vegetação sobre a cobertura de uma

casa, prédio ou fábrica, com suportes industriais para permitir o maior controle e segurança do sistema como um todo. As maneiras artificiais de naturalização podem ocorrer em diferentes configurações, dependendo da finalidade e local de aplicação.

As tecnologias de telhados verdes são categorizadas de acordo com o local de instalação das mesmas, podendo ser aplicadas em grandes ou pequenas áreas, com alta ou baixa variedade de plantas e muita ou pouca necessidade de manutenção. As diversas técnicas de cobertura verde são classificadas em dois grupos abrangentes: intensivos e extensivos (Figuras 8 e 9). Sendo que existem técnicas que abrangem características de ambas definições, denominados semiextensivos.

Tetos verdes intensivos são aqueles semelhantes às condições de uma floresta *in natura*, onde há maior número de plantas, profundidade do substrato e água para suportar plantas desenvolvidas no ambiente. Nestes casos, é fundamental existir uma estrutura de telhado altamente resistente e pavimentada. Coberturas verdes extensivas não exigem grande reforço estrutural e são majoritariamente aplicadas em áreas maiores, como estabelecimentos comerciais e galpões, portanto, por abrangerem técnicas de menor custo, manutenção e peso, essa categoria é a mais popular entre os consumidores, sejam eles de moradores de uma residência ou proprietários de indústrias e estabelecimentos de maior dimensão.



Figura 8: Telhado verde intensivo e, cobertura pavimentada. Fonte: obvious-mag.org/archives/2009/06/telhados_verdes.html (Acessado em 08/09/2018).



Figura 9: Telhado verde extensivo no Morro da Babilônia, RJ. Fonte: <https://ecotelhado.com/telhado-verde-chega-tambem-aos-morros-cariocas/> (Acessado em 08/09/2018).

Para melhor compreensão das técnicas foi elaborada uma tabela comparativa exposta na página seguinte pela Figura 10, analisando aspectos determinantes a cada grupo de tecnologia verde. A classificação de telhados verdes foi realizada segundo diferentes fontes como: IGRA (*Internacional Green Roof Association*); (ROLA et al, 2003)¹⁵, (JOHNSTON & NEWTON, 2004)¹⁶ e (SILVA. B, 2014.)¹⁷

¹⁵ ROLA, S. M.; MACHADO, L. F. C.; BARROSO-KRAUSE, C. M. L.; ROSA, L. P. **Naturação, água e o futuro das cidades no contexto das mudanças ambientais globais.** CBA-2003 – Congresso Brasileiro de Arquitetos, Rio de Janeiro, 2003.

¹⁶ JHONSTON, J.; NEWTON, J. **Build Green: A guide to using plants on roofs, walls and pavements.** London. 2004. Disponível em: <http://legacy.london.gov.uk/mayor/strategies/biodiversity/docs/Building_Green_main_text.pdf>. Acesso em: 11 de janeiro de 2014.

¹⁷ SILVA, B. **Telhados verdes em clima tropical: Uma nova técnica e seu potencial de atenuação térmica.** 2016. Tese (Doutorado) – Programa de Engenharia Civil, UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro, 2016.

TABELA COMPARATIVA - CLASSIFICAÇÃO DE TELHADOS VERDES

FATORES	INTENSIVO	SEMI-INTENSIVO	EXTENSIVO
CARACTERIZAÇÃO	<p>Categoria de telhado verde semelhante a vegetação <i>in natura</i>, com maior espessura do solo e variedade de plantas. É uma técnica de maior custo, pois demanda maior reforço estrutural e componentes para funcionamento seguro do sistema</p>	<p>Telhados verdes semi-intensivos caracterizam-se por serem o meio termo entre intensivo e extensivos, ou seja, a espessura de vegetação e solo é mediana, precisam de manutenção e irrigação periodicamente e são uma opção para aqueles que possuem estabelecimentos de médio porte com orçamento limitado</p>	<p>Resumem-se as técnicas de teto verde utilizadas em grandes áreas, configuram um sistema de baixo peso, utilizando geralmente tapetes de grama ou mantas pré vegetadas com pouco substrato</p>
PESO	Alto (150-500kg/m ²)	Médio (120-200kg/m ²)	Baixo (60-150kg/m ²)
SUBSTRATO TIPO/ESPESSURA	<p>Camada profunda de terra para suportar plantas maiores; Assemelha-se ao substrato <i>in natura</i> em florestas. Espessura varia com as espécies plantadas, podendo chegar a 500mm de substrato</p>	<p>Podem ser encontrados uma mistura de solos selecionados ou terra natural (Espessura 120-250mm)</p>	<p>Misturas de solos e aditivos como argila, brita, etc para formar uma terra leve e suficientemente nutritiva para a vegetação (50-150mm)</p>
VEGETAÇÃO TIPO/ESPESSURA	Gramado permante, árvores, arbustos e frutíferas	Gramíneas-Herbáceas e arbustos	Suculentas, Gramíneas, Musgos e Herbáceas
CUSTO	Alto (até R\$300,00/m ² - técnicas estrangeiras com valor convertido para Reais	Médio	Baixo (R\$50,00 - R\$120,00/m ²)
MANUTENÇÃO	Alta manutenção, podas para controlar crescimento das plantas, retirada de ervas daninhas	Média (depende da escolha de plantas)	Baixa ou nenhuma (geralmente são módulos de tapetes de grama que não crescem muito)
IRRIGAÇÃO	Alta Frequência	Média Frequência	Baixa frequência ou nenhuma
QUANTIDADE APROXIMADA DE ELEMENTOS DO SISTEMA CONSTRUTIVO	De 4 a 7 camadas (Resit. Mecânica; Impermeabilização; Drenagem; Filtro; Barreira Anti-Raiz; Tecido Semi Permeável; Substrato e Vegetação	De 4 a 7 camadas (Resit. Mecânica; Impermeabilização; Drenagem; Filtro; Barreira Anti-Raiz; Tecido Semi Permeável; Substrato e Vegetação	De 4 a 7 camadas (Resit. Mecânica; Impermeabilização; Drenagem; Filtro; Barreira Anti-Raiz; Tecido Semi Permeável; Substrato e Vegetação

Figura 10: Comparação entre tipos de telhados verdes. Elaboração própria.

CONSIDERAÇÕES SOBRE A ANÁLISE DOS TIPOS DE TELHADO VERDE

Os telhados verdes apresentam riscos à estrutura do local onde serão montados quando mal instalados ou executados com materiais de baixa qualidade e podem permitir infiltração ou danificação da estrutura por parte das raízes da vegetação, aumentando o risco de acidentes graves. A falta de expertise e mal planejamento, levam a projetos que não consideram a resistência mecânica do telhado a ser modificado, a escolha certa de plantas relativas ao microclima do local e a propagação de chamas em caso de incêndio, acarretando em acidentes como desabamento da cobertura. Com isso, a seleção do sistema e sua adequação à estrutura é essencial e para que esses riscos sejam minimizados. Pelo que foi observado nos sites das empresas de telhados verdes, tanto empresas quanto consumidores concordam, na maioria dos casos, na confecção de projetos utilizando sistemas extensivos de vegetação, por serem de menor peso, custo, complexidade e precisarem de manutenção em menor frequência.



Figura 11: Desabamento no Shopping Center Zolitude com telhado verde em 2013, em Riga, Letônia.

Fonte: https://www.baltictimes.com/maxima_supermarket_collapse_commemorated_in_riga/.
(Acessada em 20/11/2018).

As empresas e suas técnicas convencionais dependem de muitos materiais diferentes para a confecção das camadas do sistema, seja ele intensivo ou extensivo, a vegetação e terra são importadas de fazendas e campos de cultivos nas regiões rurais, muito afastadas dos centros urbanos e muitas vezes substrato e planta não são obtidas do mesmo campo. As mantas de drenagem e impermeabilização são fornecidas por empresas de construção civil e há necessidade de fabricação das bandejas ou placas de drenagem, moldadas industrialmente em polímeros por outros ramos industriais. Esses fatores contribuem para uma complexidade da logística e montagem dos sistemas convencionais (Informações adquiridas em entrevistas com funcionários da empresa Subindo Verdes®, representante da empresa Ecotelhado®, na qual acompanhamos uma obra realizada no edifício da Firjan RJ no bairro Botafogo, Rio de Janeiro).

Devido a quantidade de materiais que conferem o sistema construtivo a serem fabricados para dar suporte a vegetação, somados ao transporte desses itens aos locais de instalação, o próprio mercado deixa de ser sustentável devido a emissão de gases e poluentes durante esses processos de fabricação e transporte de tais elementos constituintes das principais técnicas de telhados verdes, ou seja, para que a técnica seja realmente sustentável a ponto de converter a quantidade de CO² emitida da fabricação e transporte desses produtos por exemplo, deve-se manter o telhado verde por muito tempo para quitar tal emissão.

Nos sistemas onde a vegetação é plantada no substrato logo após a instalação do sistema no local, o período para o recobrimento total da área é longo, podendo durar até 1 ano e meio, ou seja, até que os benefícios do produto venham à tona, espera-se um tempo às vezes incômodo ao consumidor, pois o mesmo pode desejar os atributos instantaneamente, uma vez que o sistema é instalado. Essa afirmação pode ser contrariada, uma vez que existem exceções no universo de consumidores de um produto que envolve o desenvolvimento da natureza, podendo abranger também, clientes que gostariam de acompanhar o processo natural de crescimento das plantas. Para suprir essas necessidades, algumas empresas oferecem também, sistemas pré vegetados, que se configuram como rolos de *Sedum* (gênero de plantas da família das *Crassulaceae*, são resistentes a períodos de seca e crescem em pequenas proporções) ou tapetes de gramíneas, logo, a pré vegetação do sistema permite a beleza estética e atributos funcionais praticamente de imediato após sua instalação.

Como será reforçado posteriormente, nota-se que grande parte de tecnologias de teto verde utilizam como substrato a terra e são pesadas ou caras demais para a clientela de baixa ou média renda, ou seja, tecnicamente impossibilitam a instalação de telhados verdes em recintos onde o telhado é coberto com telhas de fibrocimento, metálicas, plásticas ou de cerâmica e, financeiramente, as empresas do mercado não incentivam pessoas de baixo ou médio poder aquisitivo a obterem seus produtos, uma vez que o custo ainda é muito alto para grande parte da população. No mercado, as lajes de concreto armado aguentam em média 300kg/m² (Telhados Verdes – O Guia Completo)¹⁸, as cerâmicas, fornecidas em unidades menores, possuem resistência mínima à ruptura à flexão de aproximadamente 100kg/unidade (ROBERTO, D. 2014)¹⁹, as telhas metálicas, plásticas e de fibrocimento variam entre até 150kg/m² a 400kg/m (CIA DAS TELHAS)²⁰ no caso das telhas de fibrocimento. Esses valores variam de acordo com o fabricante.

A partir da comparação entre as técnicas existentes, conclui-se que sistemas semi-intensivos e intensivos são mais adequados para edificações de área pequena, estruturalmente reforçadas e impermeabilizadas, na qual esse tipo de sistema demanda maior manutenção, porém é escolhido muitas vezes pelo aspecto cativante provido pela maior diversidade de plantas, o que para um estabelecimento comercial por exemplo, pode ser um atrativo para a clientela. Por outro lado, observa-se a maior divulgação e adequação das técnicas extensivas por serem as mais práticas, de baixo peso, manutenção e custo por metro quadrado. Essas características fazem dos telhados verdes extensivos os “carros chefes” das empresas de telhados verdes. Devido a esses fatores, a pesquisa será enfatizada nesse tipo de técnica.

2.2 Elementos relativos a sistemas de coberturas verdes

Os sistemas desenvolvidos até agora, baseiam-se nas necessidades básicas para a sobrevivência da vegetação do telhado verde, como iluminação, nutrição e hidratação. Consideram também os requisitos estruturais e de segurança para um produto que será posto em uma cobertura, pensando na segurança da edificação a fim de evitar infiltrações, desabamentos e outros possíveis acidentes. Com isso, a maioria dos sistemas possuem camadas que realizam funções específicas, a fim de comporem um produto seguro e eficiente.

¹⁸ BONI, F. UGREEN - Telhado Verde, o Guia Completo, por Filipi Boni. > ugreen.com.br. (Acessado em 12/06/2018).

¹⁹ ROBERTO, D. Relatório determinação da resistência à flexão de telhas cerâmicas. Curso de Engenharia Civil – Centro Universitário Luterano de Palmas – ULBRA. 2014, Tocantins.

²⁰ >http://ciadastelhas.com.br/manual/745_1.pdf (Acessado em 12/06/2018).

Após analisarmos as principais camadas de um sistema de telhado verde extensivo, serão detalhados os tipos de estruturas nas quais os módulos de recobrimento vegetal são colocados ou caso já exista uma telha ou laje no telhado, observar a geometria e configuração dessas.

2.2.1 Camadas existentes em sistemas de telhado verde convencionais

A seguir, detalharemos as principais partes constituintes a um sistema de teto verde. Para ilustrar melhor os elementos, alguns sistemas existentes no mercado serão citados e posteriormente, no tópico de análise de similares, serão detalhados.

Podemos dividir esses sistemas em dois grupos, onde o primeiro refere-se a sistemas convencionais do tipo “MEG” (*Modern Extensive Greenroofs*), que constituem múltiplas camadas para acomodar o substrato e vegetação saturados de água. O outro grupo destina-se a técnicas inovadoras que possuem uma abordagem diferente. A seguir, encontra-se o conteúdo para melhor entendimento dos elementos que permeiam as tecnologias de natureza artificial.

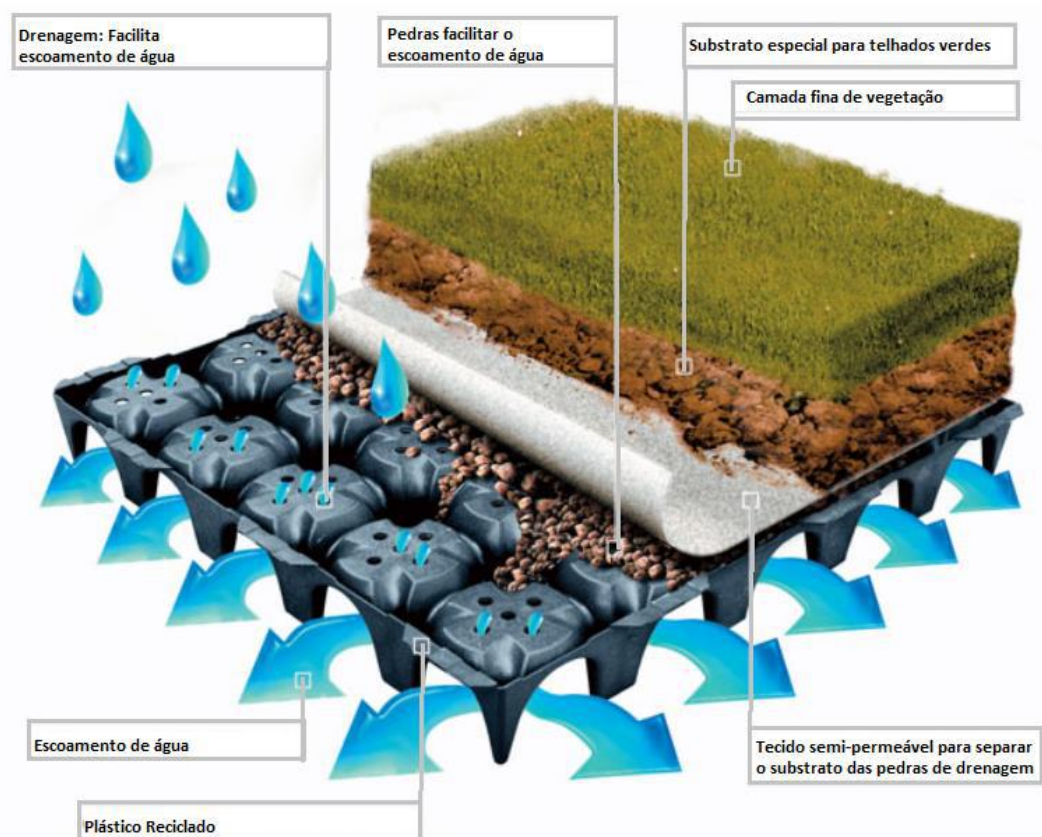


Figura 12: Principais camadas de um telhado verde extensivo.

Fonte: <https://www.bricoportale.it/ristrutturare-casa/lavori-in-casa/tetto/come-realizzare-tetto-verde/> (Acessado em 27/07/2018). Tradução própria livre.

PROTEÇÃO MECÂNICA / BARREIRA ANTI RAIZ

Como veremos na análise de similares, é comum notar a presença de camadas que isolam o telhado da vegetação e seus componentes específicos. Isso ocorre para que as irregularidades encontradas na superfície do telhado (exemplo: pedras, galhos, pregos) não danifiquem as demais camadas do sistema de telhado verde. Tal proteção pode ser obtida através do próprio material do compartimento onde a vegetação se encontra ou com membranas resistentes. A camada de proteção também pode ser utilizada como barreira anti raiz, pois muitas vezes plantas invasoras crescem no meio e danificam o sistema, permitindo infiltração ou rachaduras na telha ou pavimento sob perímetro vegetado. Esse efeito é representado pela Figura 13 na página seguinte. Mantas asfálticas e geotêxteis são exemplos de camadas de proteção para telhados verdes (MINKE, 2010)²¹.

²¹ MINKE, G. **Telhados verdes – Simples e eficientes** (Tradução livre de Dacher Begruen – einfach und wirkungsvoll). Editora: Okobuch Verlag U. Versand. 2010.



4.5 Perforación producida por raíces de cardos en una membrana asfáltica de cerca de 15mm de espesor, después de 15 meses de duración del ensayo (Pennigfeld et al. 1981)



4.6 Perforación en una unión pegada de dos láminas de PVC producida por una raíz (Pennigfeld et al. 1981)

Figura 13: Perfuração produzida por raízes de plantas em mantas asfálticas e de PVC.

Fonte: MINKE, G. Telhados verdes – Simples e eficientes (Tradução livre de Dacher Begruen – einfach und wirkungsvoll). Editora: Okobuch Verlag U. Versand. 2010.

IMPERMEABILIZAÇÃO

Uma das camadas mais importante a se considerar num projeto de telhado verde, pois os males causados pela infiltração de águas pluviais ou irrigação são diversos, como exemplo, desabamento da cobertura e mofo nas superfícies internas da construção. A membrana impermeabilizante é, na maioria dos sistemas, uma das primeiras camadas a ser estendida ao longo da superfície do telhado, caso não haja impermeabilização química (revestimento com aditivos químicos e argamassas) na superfície existente. São em sua maioria, materiais poliméricos de cadeia fechada e elastômeros resistentes, como mantas de PVC (Policloreto de Vinila). No projeto Teto Verde Favela da Enactus UFRJ, foram utilizados banners descartados a fim de substituir a manta de PVC utilizada no experimento de Bruno Rezende, pois a manta de PVC ou impermeabilização em geral, é um dos componentes mais custosos dos sistemas,

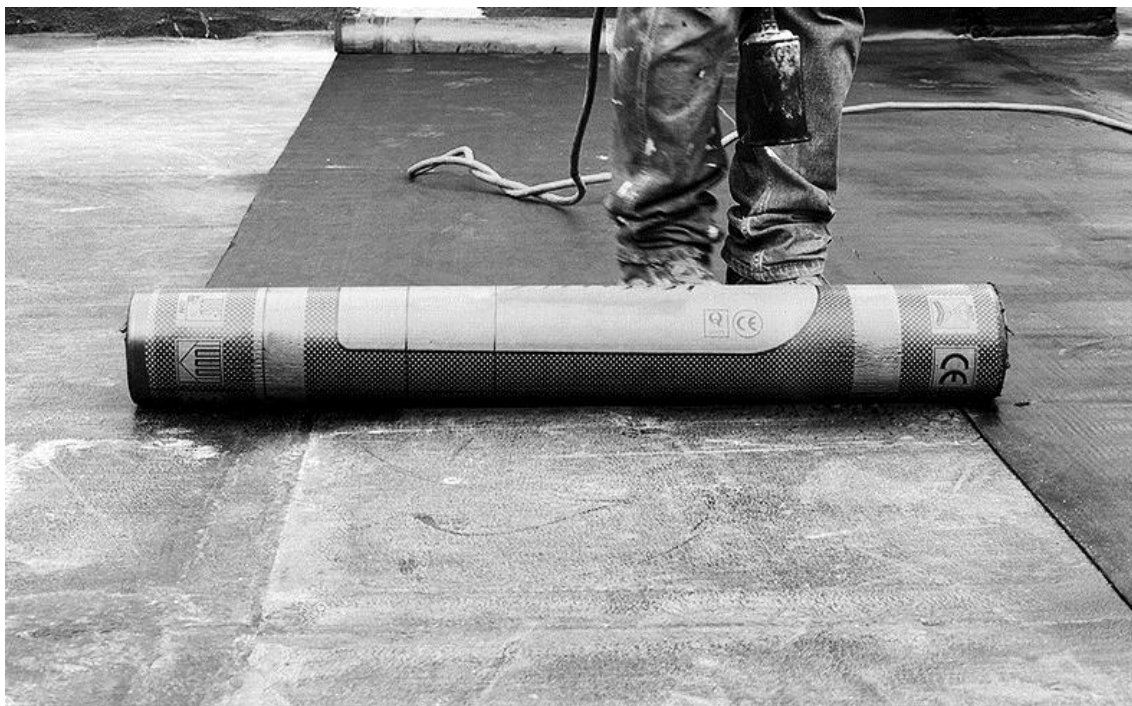


Figura 14: Aplicação da manta asfáltica. Foto: Sergio Boccardo. Fonte: <https://www.mapadaobra.com.br/capacitacao/impermeabilizacao-de-laje-com-manta-asfaltica/> (Acessada em 20/11/2018).

HIDRATAÇÃO E DRENAGEM

Para hidratar as plantas, é preciso garantir um sistema de irrigação no telhado ou um elemento para armazenar a água da chuva ou irrigação. Para isso, são utilizados módulos plásticos que mantêm a água em um certo nível para que as raízes das plantas possam entrar em contato com a água e se hidratarem. A camada de drenagem permite que o excesso de água escoe para os drenos. Dependendo do produto, o material e design dessa camada cumpre funções adicionais como meio de enraizamento ou aeração das raízes. Devido à restrição do peso da cobertura, a camada de drenagem é feita à base de materiais leves. Os elementos de drenagem feitos de borracha e plástico são usados com frequência. Outras camadas de drenagem são feitas de cascalho, argila expandida ou cacos de telha (ALMEIDA, M. 2008)²²

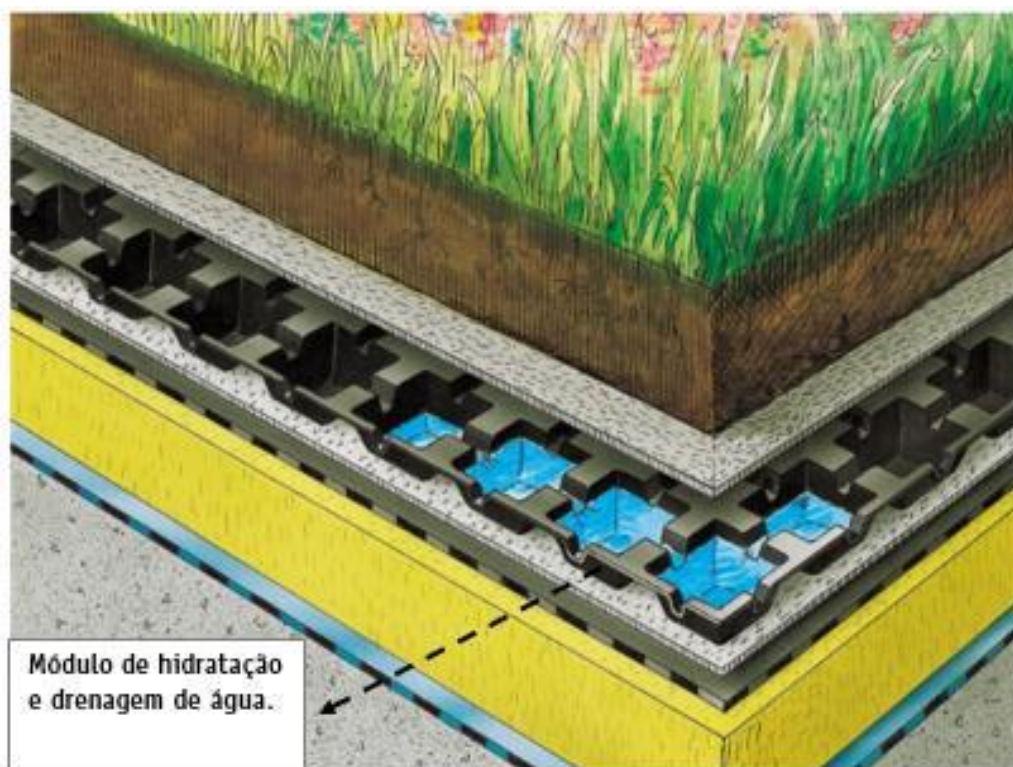


Figura 15: Módulo de armazenamento parcial e drenagem de água. Fonte: <https://www.isola.com/products-2/roof/green-roof/flat-green-roofs/> (Acessado em 14/10/2018).

²² ALMEIDA, M. Cobertura Verde. 2008. Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil – Escola de Engenharia UFMG. Belo Horizonte, 2008.

SUBSTRATO E MEIO DE CRESCIMENTO

Para que as plantas consigam nutrientes e um meio para se fixarem e crescerem, isto é, enraizarem, é preciso de um meio de crescimento. Esse meio se dá na forma de substrato e pode variar entre diversos tipos de solo, alguns são especialmente fabricados para telhados verdes, sendo substratos mais leves e ricos em nutrientes, como o *SmartSoil*® para garantir o crescimento de mudas de maneira mais eficaz.

O solo é a camada mais pesada nos telhados verdes, pois a terra deve absorver umidade, e quando saturada, confere um peso muito maior ao telhado, sendo um ponto crítico e arriscado para a estrutura. O que muitas empresas oferecem é o sistema utilizando plantas do gênero *Sedum* ou gramíneas, tipos de vegetação que necessitam de apenas uma camada fina de terra, porém ainda conferem peso ao sistema quando saturados. É fundamental que o substrato ou meio de crescimento absorva água e permita o avanço e entrelaçamento das raízes das plantas.



Figura 16: Assentamento do substrato terra para acomodação dos tapetes de grama em telhado verde no edifício Firjan RJ, em Botafogo, Rio de Janeiro. Elaboração própria.

VEGETAÇÃO

A vegetação empregada em telhados e muros verdes varia com o clima e o tipo de vegetação existente da região. Excetuando os tetos verdes intensivos, a vegetação em telhados verdes é sempre selecionada criteriosamente visando o cultivo de plantas resistentes à períodos de seca e de pequeno a médio porte. É comum aos setores de telhados verdes norte americano e europeu, a vegetação de seus sistemas com mistura de espécies do gênero *Sedum* nos sistemas extensivos, por não necessitarem de solo espesso e irrigação constante e serem plantas perenes, que se espalham rapidamente na horizontal, formando um cobertor de vegetação, suficiente para obter isolamento térmico. Porém, esse tipo de vegetação não é totalmente compatível ao clima tropical brasileiro. No Brasil, a vegetação extensiva é composta por gramíneas e plantas de forração como grama amendoim e grama esmeralda.

Os fatores determinantes a escolha da vegetação são: Carga máxima permitida por metro quadrado do telhado a ser vegetado; Compatibilidade ao grau de luminosidade do local; Resistência a ventania e chuvas fortes; Compatibilidade ao clima e vegetação local e adequação a inclinação da cobertura, para que não haja sobrepeso e deslizamentos. A presença ou ausência de circulação de pessoas em cima do telhado e o tamanho da área a ser vegetada também influenciam na escolha da vegetação.



Figura 17: Carpete de *Sedum*.

Fonte: <http://www.vegetalid.com/solutions/green-roofs/with-sedum-mats-id-mat/description.html> (Acessado em 16/10/2018).

Para basear essa pesquisa, foram estudadas as plantas rupícolas e epífitas, que enraízam e se desenvolvem em rochas e troncos de árvore, são conhecidas também por plantas aéreas. Essas plantas eliminam a necessidade de uma camada de solo nos telhados, conferindo uma grande vantagem em relação aos demais sistemas devido à redução de peso total, redução da possibilidade de crescimento de plantas invasoras e pela menor complexidade dos sistemas como um todo, por isso foram selecionadas e testadas durante este projeto. As rupícolas (ou litófitas) encontram-se em costões rochosos, muitas vezes em topos de montanhas, sua localização permitiu a resistência a períodos de seca e altas temperaturas e são encontradas sobre telhados nos quais essas não foram intencionalmente alocadas. Alguns exemplos são as plantas das famílias, bromélias e cactos, *Bromeliaceae* e *Cactaceae*. As espécies epífitas realizam o fenômeno biológico epifitismo, na qual as plantas se apoiam sobre outras espécies para se erguerem e desenvolverem.

Mais à frente, veremos a seleção de plantas utilizadas no experimento de Bruno Rezende, que utilizou vegetação rupícola e epífita, no qual as bromélias obtiveram grande êxito por terem bom desempenho na contenção de água, o que permite melhor isolamento térmico. As bromélias foram alvo de propaganda anti dengue nos últimos anos por acumularem água parada em seu interior. Porém um estudo realizado pelo Instituto Oswaldo Cruz – FioCruz, apontou que em um período de 1 ano com 156 espécies de bromélias, tais plantas não constituem risco a proliferação de mosquitos do tipo *Ae. aegypti*. Segundo Marcio Mocelin, pesquisador do Jardim Botânico:

“Apenas 0,07% e 0,18% de um total de 2.816 formas imaturas de mosquitos coletadas nas bromélias durante o período de um ano correspondiam ao *Aedes aegypt* e *Aedes albopictus*, sugerindo que as bromélias não constituem um problema epidemiológico como foco de propagação ou persistência desses vetores”



Figura 18: Reservatório de água de uma bromélia.
Fonte: Marcio Mocelin – Instituto Oswaldo Cruz.

2.3 Fatores determinantes para o design, instalação e manutenção de um sistema de telhado verde

TIPO DE TELHADO

Para residências e construções de até 3 andares, é muito comum a estruturação de um telhado por meio de hastes ou vigas de madeira ou metal que se apoiam e fixam-se sobre as paredes da construção, formando uma grelha que serve de suporte para a cobertura em si, que se dá em forma de telhas de diversos tipos ou lajes preenchidas com concreto armado. Atualmente encontram-se diversas técnicas para estruturação e recobrimento de uma cobertura, sejam elas antigas ou recentes, porém aqui serão analisadas as técnicas mais comuns no Brasil. Um dos fatores determinantes a definição do tipo de telhado, é o índice pluviométrico e clima da região, assim como a preferência estética e projeto arquitetônico da construção, que por sua vez, definem a estrutura de engradamento e o tipo de telhado a ser colocado. Quando o teto é coberto com telhas, o dimensionamento do engradamento, ou seja, espaçamento entre as hastes (ripas, caibros, terças, vigas), é determinado pelo fabricante da telha.

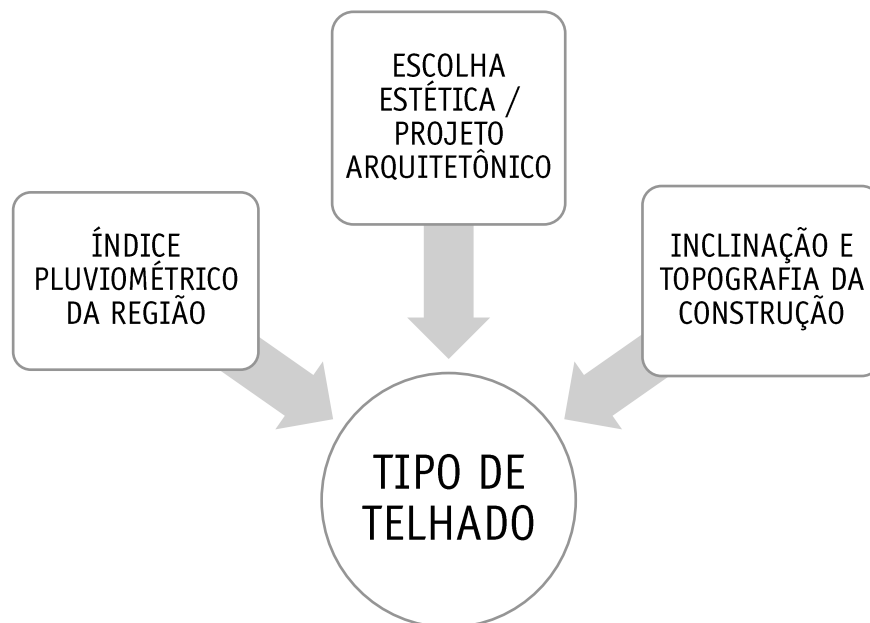


Figura 19: Fatores determinantes a escolha do telhado. Elaboração própria.

INCLINAÇÃO

A inclinação da cobertura é decisiva para a construção do teto verde e a seleção do tipo de vegetação. Em coberturas planas sem sistema de drenagem, ocorre o acúmulo de água e formação de poças, prejudiciais às raízes das plantas que ficam submersas e sem oxigênio para se desenvolverem. Para que ocorra escoamento de água por gravidade, é recomendado uma inclinação mínima de 5% em relação a dimensão longitudinal dos telhados cobertos por telhas e em lajes pavimentadas, é necessária a instalação de ralos ou saídas nas quinas da cobertura para drenar a água em excesso. Para telhados com mais de 40% de inclinação (22°) é necessário haver cuidados especiais como sistemas de barragem para que o substrato não deslize (MINKE, G, 2010)²³. Nesse âmbito, quanto mais leve for o substrato e vegetação, menor será o risco de deslizamento e conseqüentemente, é maior a garantia de que o conjunto se acomodará sobre o telhado inclinado de forma segura.



Figura 20: Representação da conversão entre as dimensões de um telhado e sua inclinação.

Fonte: <https://pedreira.com.br/como-calculer-inclinacao-telhado-passo-a-passo/> (Acessado em 16/10/2018).

²³ MINKE, G. Telhados verdes – Simples e eficientes (Tradução livre de Dacher Begruen – einfach und wirkungsvoll). Editora: Okobuch Verlag U. Versand. 2010.

Conversión de los valores de inclinación de
techo de % en grados y viceversa

%	grados	grados	%
5	2,9	3	5,2
10	5,7	5	8,8
15	8,5	10	17,6
20	11,3	15	26,8
30	16,7	20	36,4
40	21,8	25	46,6
50	26,6	30	57,7
60	31,0	35	70,0
80	38,7	40	83,9
100	45,0	45	100

Figura 21: Conversão dos valores de inclinação em porcentagem para graus. Fonte: Minke, G. Dacher Begruen – einfach und wirkungsvoll. 2010.

TOPOGRAFIA DE TELHADOS

Os telhados podem ser cobertos com lajes ou telhas das mais variadas formas, materiais e cores. Além dessas variações, a topografia da construção varia formalmente. As divisões mais comuns são pelo número de inclinações do telhado, onde cada inclinação promove o escoamento de águas pluviais, por isso o nome “águas do telhado”. As inclinações podem ser acentuadas ou suaves, variando com a região e sua pluviometria, o tipo de construção e suas finalidades. No Brasil, a maioria dos estabelecimentos possuem inclinações de 15% a 45%, utilizando telhas cerâmicas, fibrocimento, metálicas e plásticas. Esses dados foram obtidos visitando sites de fabricantes de telhas, observando construções no Rio de Janeiro e consultando materiais didáticos como o da Profa. Simone Maciel²⁴. Alguns dos tipos de tetos observados em uma pesquisa de campo pelo Rio de Janeiro foram as seguintes expressas nas imagens 22 e 23 expostas na página a seguir.

²⁴www.joinville.udesc.br/portal/professores/simone_maciel/materiais/Aula_Telhados___DCC_I.pdf



Figura 22: Classificação dos telhados pelo número de inclinações. Fonte: www.pedreiraao.com.br (Acessado em 21/10/2018).



Figura 23: Vista superior de telhados na Favela do Arará, Benfica – RJ. Elaboração própria.



Figura 23: Vista de telhados com diferentes inclinações em Botafogo - RJ. Elaboração própria.



Figura 24: Telhado com várias águas, em Botafogo – RJ.
Fonte: Foto: Rafael Aguirre.

ENGRADAMENTO DE MADEIRA OU METÁLICO

As estruturas de madeira ou metálicas são instaladas de acordo com o tipo de telha a ser instalada e o desenho arquitetônico do telhado. As coberturas podem ser de diferentes geometrias, de uma a quatro águas, cônicas, piramidais ou mistas, e o que dá forma a esses volumes é o engradamento feito com treliças, terças, caibros vigas e ripas. Esse tipo de engradamento serve de suporte para os diversos tipos de telhas do mercado, como as telhas cerâmicas, plásticas, metálicas e de fibrocimento. As galgas são os espaços entre as hastes, e são determinadas pelo fabricante da telha.



Figura 25: Engradamento metálico. Fonte: www.masteel.com.br/estrutura-metalica-galvanizada (Acessada em 16/10/2018).



Figura 26: Engradamento de madeira. Fonte: <https://pselshadai.webnode.com.br/serviços/> (Acessada em 02/09/2018).

ESTRUTURAS DE LAJE CONCRETADA

As lajes são coberturas que formam terraços pavimentados, espaços onde pode haver presença de pessoas ou objetos pesados como caixas d'água. Existem muitos tipos de lajes, a maioria baseia-se no mesmo princípio, onde um engradamento por vergalhões metálicos preenchidos por tijolos, isopor ou o próprio concreto, é posteriormente revestido por concreto, dando maior resistência por metro quadrado da construção, essas camadas de material são apoiadas sobre as vigas, pilares ou paredes. Segundo a NBR 6120 - CARGAS PARA O CÁLCULO DE ESTRUTURAS DE EDIFICAÇÕES, para edifícios residenciais a resistência da estrutura de laje deve ser de no mínimo 1.5kn/m^2 e considerando o acesso ao público, 2kn/m^2 , convertendo para Kg/m^2 , temos aproximadamente 150kg/m^2 e 200kg/m^2 .

As lajes possuem aproximadamente 12 cm de espessura e podem aguentar até 1000 kg/m^2 dependendo do método construtivo e quantidade de material. É importante notar que, com o intuito de serem aptas a receberem um telhado verde, necessitam de ralos ou inclinação suficientes para a drenagem de água.



Figura 27: Sistema de construção de lajes de concreto armado.

Fonte: <https://blogpraconstruir.com.br/etapas-da-construcao/laje/> (Acessada em 17/08/2018)

TIPOS DE TELHAS

Assim como as lajes, as telhas possuem inúmeras variedades e sistemas construtivos, que vão desde as tradicionais telhas de barro até telhas de vidro ou com painéis solares embutidos. Porém, dentre as diversas opções, serão analisadas aquelas mais comumente comercializadas no Brasil e relevantes para essa pesquisa. No tópico anterior, foi explicitado a fixação das telhas nas hastes do engradamento, por meio de parafusos ou encaixes, variando de acordo com o tipo de telha e telhado. Nota-se que as telhas mais comuns no Brasil também seguem um padrão geométrico/construtivo, constituído de vales e montanhas e encaixes com sobreposição, a fim de permitir o escoamento de água e garantir resistência mecânica à flexão e ao impacto que poderá ser aplicado ao telhado em caso de objetos que caem sobre a estrutura ou pessoas que andem sobre o telhado. É importante considerar que as telhas podem sofrer danos por impactos ou pela degradação físico-química provocada pela exposição às intempéries ao longo do tempo, logo precisam ser substituídas ou reparadas nesses casos.

A fim de sintetizar as informações obtidas na pesquisa sobre tipos de telhas, uma tabela comparativa foi elaborada considerando as principais características das telhas mais comuns no mercado nacional, visando os pontos condizentes ao projeto de recobrimento por vegetação. A tabela foi elaborada consultando lojas no centro do Rio de Janeiro como HEFA Loja de Materiais; Brito Costa Materiais de Construção; visitadas em 6/07/2018, lojas online, sites e fontes diversas sobre construção civil e arquitetura²⁵. Alguns valores podem variar de acordo com o fabricante do produto.

²⁵ **Sites acessados:**

> <https://www.cec.com.br> (Acessado em 9/07/2018)

> <https://fibersals.com.br/blog/riscos-do-excesso-de-peso-na-laje/> (Acessado 11/07/2018)

> https://pt.made-in-china.com/co_cus-steel/product_Colorful-Galvalume-Steel-Roofing-Tile-Sand-Coated-Metal-Roof-Tile_esnsisney.html (acessado 11/07/2018)

> <http://portuguese.stonecoatedroofingtiles.com/sale-9645652-stone-coated-roofing-sheet-shingle-series-materials-stone-coated-metal-roof-tiles.html> (Acessado 11/07/2018)

> <http://www.tindibatelhas.com.br/produto/telha-trapezoidal-galvanizada-7,00m> (Acessado 11/07/2018)

> https://www.casadascercas.com.br/tela-alambrado-galvanizada?utm_source=SmartHint&utm_campaign=SmartHint-Recs&utm_medium=SearchInterest (Acessado 11/07/2018)

> <http://www.siotec.com.br/blog/telha-sanduiche-saiba-tudo/> (acessado 11/09/2018);
> <https://telhaforte.com/> (Acessado 11/07/2018)

TABELA COMPARATIVA – TIPOS DE TELHAS E LAJE DE CONCRETO






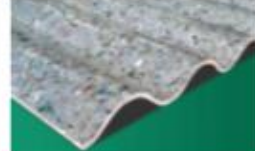



TIPO DE COBERTURA	CARACTERÍSTICAS GERAIS	MATERIAIS	PESO	ESPESSURA / RESISTÊNCIA AO IMPACTO E FLEXÃO *	TAMANHO UNIDADE	PREÇO	GEOMETRIA / IMAGEM
LAJE DE CONCRETO	Maior resistência estrutural para o recebimento de carga extra no telhado; Impermeável, porém suscetível a infiltrações	Concreto	aprox. 200kg/m ²	aprox. 120mm (apenas camada de concreto) - 400mm(com vigas) / Alta resistência mecânica (250 - 400kg/m ²)	Depende da área	R\$50,00 - R\$300,00/m ²	
ETERNIT / AMIANTO / FIBROCIMENTO	Mofam com o tempo; Baixo Custo; Longa Durabilidade; Absorvem a umidade, porém são consideradas impermeáveis	Cimento e fibra sintética	9kg/unid.	4mm / Alta resistência mecânica. 400kg/m	2.44 x 0.50 m	R\$12,00- R\$19,90/unid	
CERÂMICA ROMANA E PORTUGUESA	Maior atenuação térmica; Absorvem a umidade, porém são consideradas impermeáveis	Barro	2kg - 3.5kg/unid	aprox. 10mm / Baixa resistência ao impacto; Alta resistência a cargas constantes (150kg/telha). aprox. 100kg/m ²	0.40 x 0.30 m	R\$1,00 - R\$4,00/unid	
AÇO GALVANIZADO	Aquecem o ambiente; Impermeável	Aço Galvanizado	3.9kg/m ²	0.43mm / Baixa resistência	3.5 x 1 m	R\$91,76/unid	
FIBRA DE VIDRO	Translúcida; Baixo peso; Alto custo; Impermeável	Resina de poliéster e Fibra de vidro	0.9kg/unid.	2mm / Baixa resistência	2.44 x 0.50 m	R\$29,74 - R\$33,59/unid	
ECOLÓGICA	Ecologicamente correta; Leve; Resistente; Melhor isolamento térmico; Impermeável	Embalagen Tetrapak e outros polímeros reciclados	12kg/unid.	3mm / Alta resistência	2.20 x 0.95 m	R\$69,00/unid	
PVC	Opacas ou translúcidas; Impermeável	PVC modificado/acrilato com aditivos antichamas	10.13kg/unid.	2.5mm / Média resistência	2.30 x 0.88 m	R\$120,00 (Ondulação maior) - R\$69,00/unid (Ondulação menor)	
POLIPROPILENO	Opacas ou translúcidas; ; Impermeável	100% POLIPROPILENO	1.5kg/unid.	1mm / Baixa resistência	2.44 x 0.50 m	R\$38,90 - R\$45,90/unid	
TELHAS SANDUÍCHE	Isolantes térmicos e acústicos; Impermeáveis	3 camadas, sendo a primeira e a última do mesmo material(metal) e o "recheio" de espuma de PU, Isopor, lã de vidro ou de rocha	12-14 kg/m ²	35mm / Média resistência	1.00 x 2.23 - 8.18 m	R\$45,00 - 105,00/m ²	

Figura 28: Tabela comparativa de telhas comuns encontradas no mercado brasileiro. Elaboração própria.

TIPOS DE TELHAS (PERFIS)

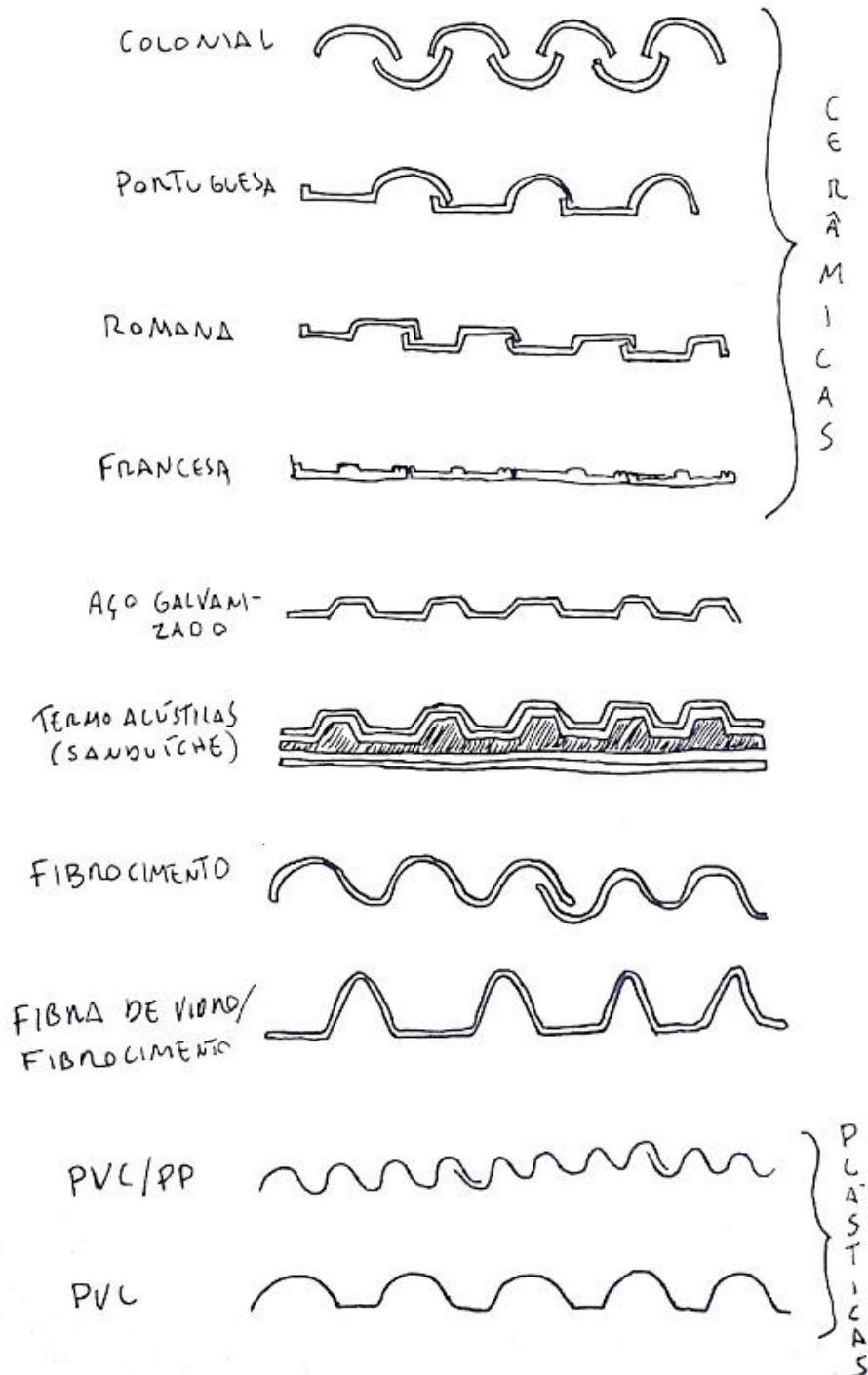


Figura 29: Resumo e representação dos perfis das telhas mais comuns observadas em pesquisa de campo e pela internet. Elaboração própria.

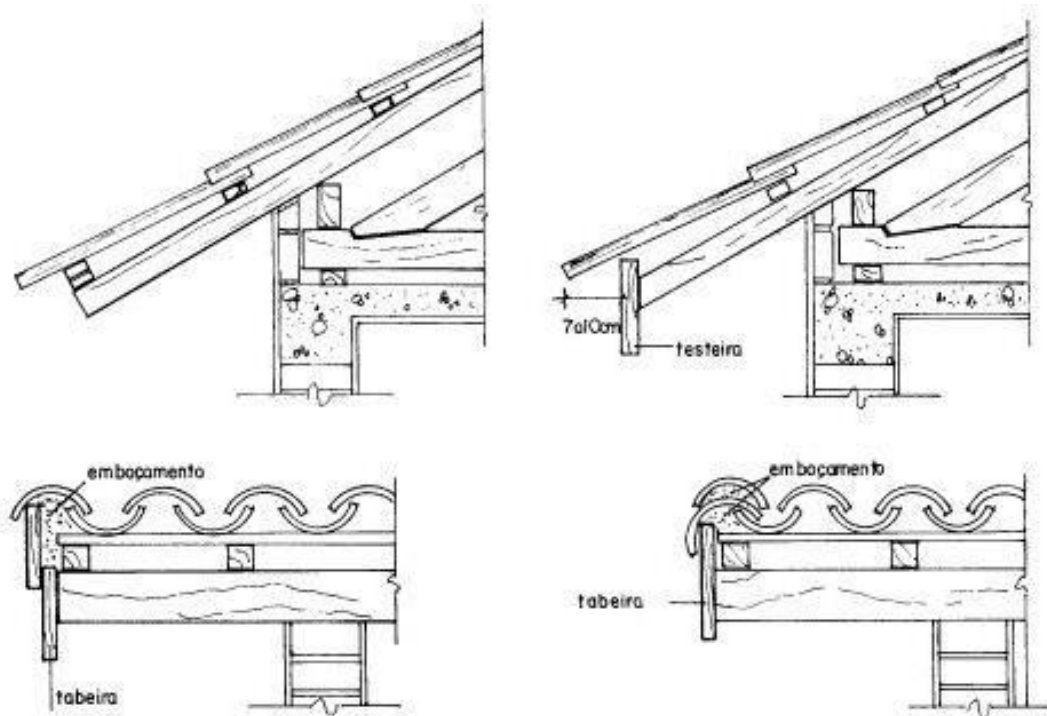


Figura 30: Esquema técnico da montagem das telhas cerâmicas do tipo colonial.

Fonte: <https://br.pinterest.com/pin/388435536592686434/visual-search/?x=16&y=16&w=530&h=671> (Acessado em 23/11/2018).

CONSIDERAÇÕES SOBRE A ANÁLISE DE TELHAS

A partir da pesquisa, serão enfatizados posteriormente a fabricação e detalhamento das telhas poliméricas por serem de menor custo e peso, as telhas cerâmicas com painéis solares embutidos e telhas sanduíche pois estas possuem funções extras além do cobrimento do imóvel, servindo como base de projeção e inspiração às soluções que serão desenvolvidas nos próximos capítulos.

As telhas de Policloreto de Vinila (PVC) são fabricadas por extrusão e termo formação, com material de baixo custo e apresentam diversas vantagens como: Baixo peso; Baixo custo por metro quadrado e ostentam resistência mecânica que possibilitam o caminhamento de pessoas sobre as telhas (ABITELHA)²⁶ e também facilidade na

²⁶ ABITELHA – Associação Brasileira da Indústria de Telhas de PVC.
><http://www.abitelha.org.br/perguntas-e-respostas> (Acessado em 17/10/2018).

usinagem das peças. As telhas sanduíche ou acústicas, são extremamente versáteis, pois apresentam isolamento térmica e acústico integradas ao sistema de telhas. Esse tipo de lógica construtiva nos levou a pensar em diversas alternativas a fim de se obter uma telha integrada à vegetação, substituindo o recheio das telhas sanduíches que são de espumas de Poliuretano ou Poliestireno expandido, por um meio de crescimento para a vegetação. Atualmente, com o desenvolvimento de novas tecnologias como energia solar, a indústria de construção civil renova-se a cada dia, como exemplo, integrando painéis solares a telhas de cerâmica. Esse tipo de inovação também serve de inspiração para o presente projeto, pois integra tecnologias de diferentes mercados.



Figura 31: Telha cerâmica com painel solar embutido.

Fonte: <https://ecoinventos.com/tejas-solares-fotovoltaicas/> (Acessada em 17/10/2018).

ACABAMENTOS EM TELHADOS

Em telhados com mais de uma água, é possível notar que o encontro dos diferentes planos inclinados gera uma sobreposição desordenada das telhas devido ao fato das telhas serem de tamanhos únicos e padronizados e a área e inclinação de cada água ser diferente para casa construção, por isso surge a necessidade de serrar as telhas no encontro entre águas (espigão) durante a montagem e disposição das telhas. O acabamento para que não ocorra infiltração e a forma se complete esteticamente, ocorre com o emassamento com emboço das partes irregulares e o uso de peças complementares como capas e cumeeiras.



Figura 332: Acabamento com embolso de cimento no espigão.
Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=NtVy8CVtQ0c>. (Acessado em 8/10/2018).



Figura 323: Corte de telhas no espigão geralmente realizado com uma serra de corte elétrica (Makita).

MANUTENÇÃO

A manutenção de um teto verde é um ponto crítico em qualquer tipo de telhado ou muro verde, pois a vegetação está suscetível a deposição de material orgânico por polinizadores naturais como insetos, pássaros, morcegos e o vento, que podem introduzir sementes de espécies não desejadas ao telhado verde, permitindo o crescimento desproporcional da vegetação e aumentando o peso ideal do telhado. As raízes das espécies invasoras podem danificar as camadas do telhado, causando riscos a estrutura do estabelecimento. Por ser um fenômeno natural, aleatório e imprevisível, suas causas não podem ser cortadas, e sim, minimizadas, prevenidas e controladas.

Para limitar a variedade de espécies que podem alocar-se em um telhado, é vantajoso reduzir ao máximo a espessura do substrato, limitando as condições somente a sobrevivência de plantas que vivem com pouco ou nenhum substrato, como as plantas aéreas. Porém, sabe-se que após um período, um substrato natural é formado pelo acúmulo de matéria orgânica.

A fim de prevenir o impacto destrutivo de plantas não selecionadas no planejamento do teto verde, deve-se garantir uma estrutura resistente, tanto do telhado, quanto para os próprios componentes do sistema de telhado verde, ou seja, deve-se obter uma margem de segurança, garantindo a integridade do sistema e do telhado em face ao peso adicional e o alastramento de raízes originárias do crescimento de espécies invasoras.

Para controlar a estabilidade do micro ecossistema a ser formado, a manutenção por uma equipe técnica ou por ferramentas de capina seletiva como o podão, são recomendadas pelas empresas existentes atualmente. Consultando empresas como ZinCo® e Bauder®, foi verificado que técnicas extensivas demandam manutenção de uma a duas vezes por ano, apesar de ser recomendável, nem sempre essa opção é viável ou praticada, pois alguns telhados são de difícil acesso ou grandes demais para a manipulação com ferramentas, assim como a maioria dos consumidores não desejaria precisar contatar equipes de manutenção com certa periodicidade. Logo, deve haver um conjunto de ações preventivas para que a manutenção seja evitada ao máximo. Com o intuito de prevenir acidentes, é necessário avaliar caso por caso e restringir os locais de aplicação do teto verde, características como acesso seguro ao telhado e resistência estrutural adequada são fundamentais para que haja a manutenção do sistema.

2.4 Análise do mercado

Como dito anteriormente, exceto alguns países na Europa e em países como Canadá e Estados Unidos, a disseminação dos telhados verdes é mínima, devido às limitações de custo e complexidade dos sistemas atuais, à falta de incentivo do governo e principalmente ao receio por parte dos integrantes da sociedade ao se depararem com uma tecnologia recente e inexplorada. Atualmente as empresas registram sistemas que pouco diferem entre si, ou seja, poucas pessoas físicas ou jurídicas tentam fazer algo diferente dos sistemas convencionais tipo “MEG” (*Modern Greenroof Systems*). Com isso, há um nicho para inovar e suprir os receios dos consumidores e governo, desenvolvendo produtos que sejam de menor custo e complexidade. A disponibilidade de áreas inertes e viáveis à inserção de natureza, ou seja, a área que recobre casas e edifícios conforma uma área cinza imensa, que pode ser convertida em corredores ecológicos, isso reforça o potencial do mercado de telhados verdes.

“Atualmente há um número restrito de empresas e profissionais capacitados para executar os telhados verdes e um número ainda menor de fornecedores de componentes para sua construção” ²⁷

Nota do Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS), justificando o custo elevado para implantar o equipamento necessário às coberturas vegetadas

Para que o mercado seja desenvolvido principalmente em países como o Brasil, além de ser necessária a existência de bons produtos, é preciso criar leis e ações de incentivo fiscais e financeiros, visando planos de economia de energia e desenvolvimento ambiental. No Brasil, não existe lei ou norma técnica para instalação de telhados ou muros verdes, apenas alguns projetos de lei. Para o município de São Paulo, existe um Projeto de Lei 115/2009, que “Dispõe sobre o desconto no pagamento anual de IPTU (Imposto Predial e Territorial Urbano) na adoção de telhados verdes em imóveis em cidades com população superior a quinhentos mil habitantes” essa lei ainda não sancionada

²⁷ Fonte acessada em 26/05/2018:

<https://www20.opovo.com.br/app/opovo/imoveis/2015/03/04/notimoveis,3401627/telhados-verdes-reduzem-consumo-de-energia-e-temperatura.shtml>

estimula o mercado de telhados verdes pois oferecem um desconto de 5% no valor bruto do IPTU (CATUZZO, 2013) ²⁸.

2.4.1 Pontos críticos referentes a indústria de telhados verdes

Do ponto de vista da sustentabilidade, os telhados verdes apresentam diversos benefícios já mencionados, porém a energia empregada e as emissões liberadas para a fabricação de sistemas de telhado verde convencionais só são revertidas a longo prazo, pondo em questão a eco eficiência da adoção dessa tecnologia, afinal, a indústria produtora dessa tecnologia terá de processar e transportar cada material ou componente do sistema, transportar para o local de instalação e após o ciclo de vida do produto ele será reciclado ou descartado indevidamente, consumindo energia e gerando emissões em cada etapa do processo (UGREEN)²⁹. Com isso observa-se a necessidade de redução de elementos industriais ou substituição por materiais menos nocivos ao planeta durante sua fabricação e descarte.

“um estudo recente realizado em Chicago demonstrou um gasto de 40.000BTUs para a fabricação e instalação das camadas plásticas de impermeabilização e de proteção contra raízes de um telhado verde. Esse custo ambiental será revertido só após 40 anos, ainda considerando que não sejam feitas trocas, apenas manutenções periódicas. Se essa manutenção for bem realizada, pode superar a expectativa de 20 anos de uma laje impermeabilizada e aí sim começar a trazer os benefícios almejados.”

(Trecho extraído do artigo do blog UGREEN – Telhado verde, o guia completo. Escrito por Filipi Boni)

²⁸ CATUZZO, H. **Telhado Verde**: impacto positivo na temperatura e umidade do ar. O Caso da Cidade de São Paulo. 2013. 206 f. Tese (Doutorado) – Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

²⁹ Fonte: **Ugreen.com.br** – Telhado verde, O guia completo. **Filipi Boni**. (e-book) acessado em 18/06/2018

2.5 Análise de similares

Aqui analisaremos mecanismos extensivos de plantio em superfícies, já que por serem de menor custo, manutenção e peso, são o carro chefe das empresas de telhados verdes, oferecendo maior simplicidade de instalação e benefícios aos consumidores, englobando maior pluralidade de aplicações em diferentes superfícies. Os parâmetros fundamentais e os atributos atrelados a esses para julgar cada produto são:

- Custo por metro quadrado (Viabilidade econômica ao fabricante e consumidor)
- Número de componentes do sistema (Complexidade da fabricação e instalação)
- Peso total do conjunto saturado (Maneabilidade e segurança à estrutura do telhado)
- Variedade de espécies empregadas (Diversidade ecológica e eficiência térmica)
- Possibilidades de aplicação e instalação (Adaptação à diferentes estruturas e abrangência de mercado).

Os produtos similares podem ser divididos em duas categorias previamente mencionadas: convencionais e experimentais. Os convencionais são os sistemas oferecidos por empresas de médio a grande porte, que geralmente apresentam sistemas extensivos como a melhor solução para o cliente, porém oferecem também sistemas intensivos e semi-intensivos. Os sistemas convencionais fornecem sistemas em larga escala para instalação em fábricas e coberturas concretadas, sendo esses compostos de no mínimo 4 camadas que suportam a vegetação, essas empresas são as mais comuns no mercado e as técnicas disponibilizadas não diferem significativamente umas das outras. Os modelos convencionais avaliados são: Empresas: ZinCo®, Bauder® e Ecotelhado®.

Os sistemas experimentais são aqueles que se propuseram a simplificar ou otimizar o produto como um todo, reduzindo o número de componentes ou diminuindo o custo e complexidade dos sistemas, alterando a composição material ou formal do sistema. Os modelos experimentais avaliados são: Técnica elaborada pelo botânico Bruno Rezende; Adaptação da técnica de Bruno Rezende pela organização Enactus UFRJ e Empresa Groendak®.

2.5.1 Sistemas convencionais

Empresas como Zinco® e Bauder®, pioneiras no mercado alemão de telhados de telhados verdes, oferecem uma variedade de opções de telhados verdes. Dentre a seção de sistemas extensivos, é comum também encontrar em diversas companhias como a norte americana Rooflite®, o sistema extensivo chamado *Sedum Blanket* (pode ser traduzido para tapete, cobertor ou manta vegetada), que consiste na pré cultivo da vegetação em um tecido semipermeável com fibras abertas, cultivado em campos afastados dos centros urbanos. No Brasil, a empresa pioneira em telhados verdes Ecotelhado® oferece esse sistema utilizando tapetes de grama como vegetação. Esses tapetes são enrolados para facilitar o transporte até o destino final e desenrolados sobre a estrutura do telhado. Para acomodar o tapete vegetado, as empresas desenvolvem suas próprias membranas de proteção, impermeabilização e drenagem. A representação das variações entre telhados extensivos pode ser organizada de acordo com a figura 35 (OBERNDORFER, 2007)³⁰:

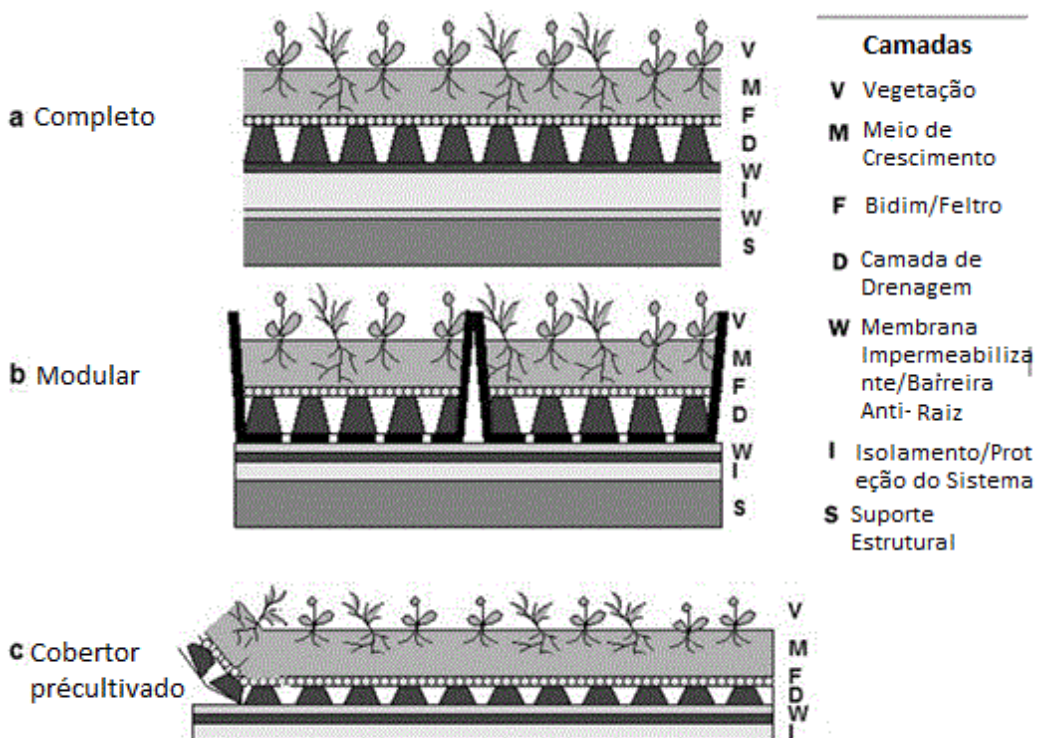


Figura 34: Tipos de sistemas extensivos convencionais de telhado verde.

³⁰ OBERNDORFER, E.; et al. Green Roofs as Urban Ecosystems: Ecological Structures, Functions and Services. Washington, 2007. >
<http://www.bioone.org/doi/full/10.1641/B571005>

BAUDER®

Sistema de cobertura pré cultivado de telhado verde extensivo.



Figura 35: Sistema Bauder Sedum Blanket®.

Legenda: 1- Mix de 11 espécies de *Sedum* cultivados em substrato poroso que é espalhado sobre uma malha de polipropileno colada a uma camada semipermeável.

2- Sanduíche de tecidos geotêxteis com laços de nylons trançados termicamente colados. Essa camada impede que as raízes fiquem submersas na água ao mesmo tempo que permitem o espaço para vapor d'água e oxigênio.

PONTOS POSITIVOS

- Um dos sistemas mais leves e com menor número de camadas do mercado europeu.
- Por ser pré cultivado, obtém-se os benefícios do telhado verde logo após a instalação.
- Para grandes áreas, sua instalação é facilitada devido a configuração do produto em rolos de vegetação que são apenas desenrolados sobre a superfície da cobertura.

PONTOS NEGATIVOS

- Empresa cultiva os tapetes pré-vegetados em campos afastados da cidade, dificultando o transporte para centros urbanos.
- Em casos onde o telhado é de laje ou com inclinação menor que 2°, necessita de uma camada extra de drenagem e perfis de alumínio para drenar água em excesso.
- Rolos naturados precisam ser elevados até a cobertura com o auxílio de guindastes, tornando a instalação trabalhosa e custosa.
- Limitado à aplicação em lajes impermeabilizadas ou telhados reforçados e planificados, ou seja, o sistema não assenta diretamente sobre telhados com telhas, necessita de uma adaptação estrutural.

PRODUTO	COMENTÁRIOS	Nº COMPONENTES *	PESO SATURADO	VARIEDADE DE PLANTAS	CUSTO	TIPOS DE TELHADOS COMPATÍVEIS
Bauder Sedum Blanket System	Cobertor pré-vegetado	2 componentes sendo 4 membranas (sanduíche termoformado)	44Kg/m ²	11 espécies de <i>Sedum</i>	Informação não disponível	Lajes ou telhados cobertos por telhas planificados e reforçados estruturalmente



Figura 36: Cobertura extensiva com o produto Bauder Sedum Blanket.



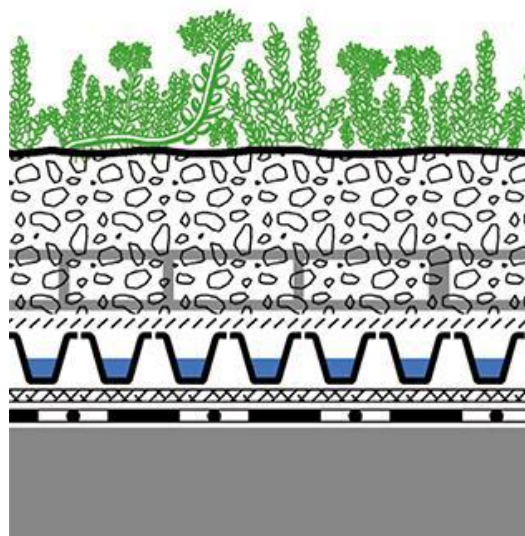
Figura 38: Cultivo dos cobertores pré vegetados da Bauder em campos afastados da cidade.



Figura 37: Instalação dos rolos pré vegetados com auxílio de guindastes.

ZINCO®

Sistema completo de telhado verde extensivo.



Plug Plants FB 50 "Sedum Carpet"
16 pcs/m² or
Sedum Cuttings 60 g/m²

System Substrate "Sedum Carpet"
≥ 80 mm*

Fallnet®

Filter Sheet SF

Floradrain® FD 25-E

Protection Mat SSM 45

Root Barrier WSF 40, if waterproofing
is not root-resistant

* if there is enough rainfall, maybe less

PONTOS POSITIVOS

- Opção mais leve dentre os sistemas fornecidos pela empresa Zinco.
- Permite o caminhamento de pessoas sobre o telhado.

PONTOS NEGATIVOS

- Plantação por meio da inserção de mudas ou estacas de espécies Sedum, podendo demorar de 2 a 3 anos para completar o recobrimento superficial do telhado.
- Muitos componentes por sistema. (5 camadas além da vegetação).
- Pelo que foi observado no site da empresa, o produto é limitado à aplicação em lajes impermeabilizadas ou telhados reforçados e planificados, ou seja, o sistema não assenta diretamente sobre telhados com telhas, precisa de uma adaptação estrutural.

PRODUTO	COMENTÁRIOS	Nº COMPONENTES (Além da vegetação)	PESO SATURADO	VARIEDADE DE PLANTAS	CUSTO	TIPOS DE TELHADOS COMPATÍVEIS
ZinCo Sedum Carpet	Sistema extensivo completo. Possui 9cm de altura total	5	95kg/m ²	Diversas espécies de <i>Sedum</i>	Informação não disponível	Lajes ou telhados cobertos por telhas planejados e reforçados estruturalmente



Figura 39: Cobertura extensiva com o produto ZinCo Sedum Carpet. Terminal Building, Airport Ibiza/Spain.



Figura 40: Cobertura extensiva com o produto ZinCo Sedum Carpet. Green Place Office Building, Milano.



Figura 41: Cobertura extensiva com o produto ZinCo Sedum Carpet.

ECOTELHADO®

Empresa brasileira pioneira no mercado de telhados verdes no Brasil, oferece sistemas multicamadas como as empresas anteriores, porém a vegetação de seus sistemas é majoritariamente composta por tapetes de grama, devido a maior compatibilidade com o clima brasileiro, sendo alguns desses sistemas, passíveis de integração com sistemas de tratamento de água e esgoto do estabelecimento.

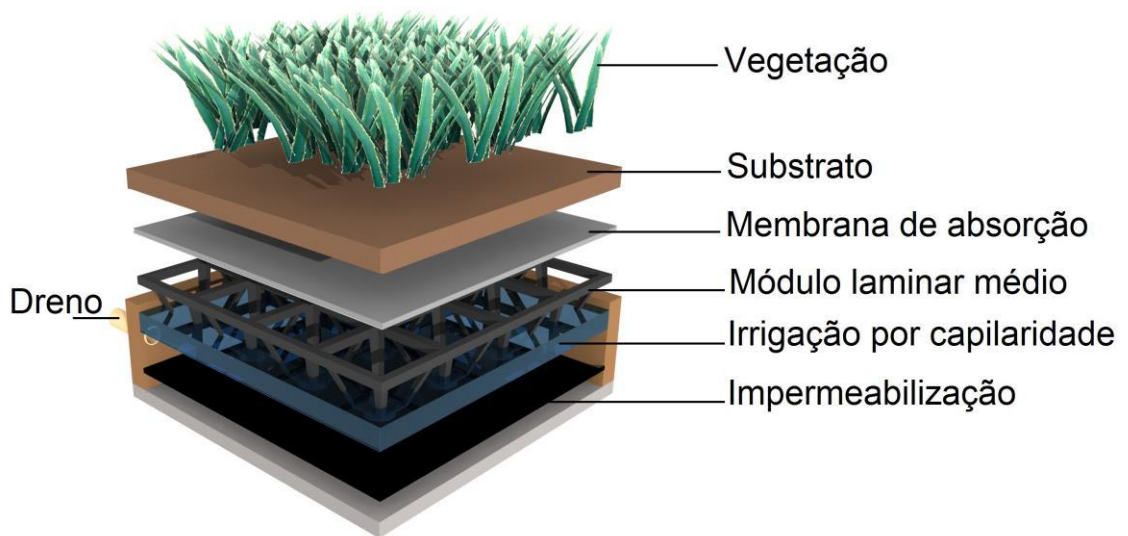


Figura 42: Sistema Alveolar Médio da Ecotelhado. Fonte: www.ecotelhado.com. (Acessado em 17/10/2018).

PONTOS POSITIVOS

- Sistema pode ser integrado ao sistema de tratamento de água ou esgoto do local.
- Tapetes de grama e módulo plástico permitem circulação de pessoas pelo telhado.
- Vegetação adaptada ao clima brasileiro

PONTOS NEGATIVOS

- Empresa cultiva os tapetes de grama em campos afastados da cidade.

- Tapetes de grama precisam ser elevados até a cobertura com o auxílio de guindastes.
- Restrito a aplicação em lajes impermeabilizadas, ou seja, não atende a construções com telhas.
- Apenas grama é cultivada, não incentiva diversidade ecológica e precisa de irrigação constante.

PRODUTO	COMENTÁRIOS	Nº COMPONENTES (Além da vegetação)	PESO SATURADO	VARIEDADE DE PLANTAS	CUSTO	TIPOS DE TELHADOS COMPATÍVEIS
Ecotelhado Laminar Médio	Sistema extensivo completo.	4	110kg/m ² (resistência da laje recomendada pela empresa)	1 espécie de gramínea	R\$80,00/m ²	Lajes impermeabilizadas



Figura 43: Camadas do sistema Alveolar Médio da Ecotelhado. Foto tirada no Edifício Firjan RJ, em Botafogo – RJ. Elaboração própria.



Figura 44: Aplicação do sistema Alveolar Médio da Ecotelhado. Elaboração própria. Foto tirada no Edifício Firjan RJ, em Botafogo – RJ. Elaboração própria.



Figura 45: Sistema modular não mais produzido pela empresa Ecotelhado, feito com bandejas de borrachas reciclada, pode ser aplicado diretamente sobre telhas. Fonte:www.ecotelhado.com. (Acessado em 18/09/2018)

2.5.2 Sistemas experimentais

Os seguintes similares serão melhor detalhados pois possuem diretrizes comuns à essa pesquisa. Constituem de técnicas inovadoras e ainda recentes no mercado ou até mesmo ainda na fase de testes e aprovações.

GROENDAK®

Empresa holandesa que propõe uma telha integrada à vegetação, imitando o design de telha metálica revestida com pedra, comum nos telhados europeus, fazendo com que essa telha se encaixe ou substitua esse padrão de telhas nos telhados. O módulo é feito de HDPE (Polietileno de Alta Densidade) e utiliza vegetação do tipo Sedum com substrato leve específico para telhados verdes.



Figura 46: Vegetação embutida em telha da empresa holandesa Groendakpan. Fonte: Groendakpan.nl.

PONTOS POSITIVOS

- Excetuando a vegetação e substrato, possui apenas um componente que é a própria telha de HDPE, o que confere praticidade de fabricação e construtiva.
- Modular e de fácil manuseio devido ao baixo peso.
- Apresenta lógica construtiva inovadora, na qual o telhado verde não é mais um sistema a parte do telhado e sim um elemento constituinte da telha que o compõe.

PONTOS NEGATIVOS

- Alto custo. Para cada metro quadrado, é preciso comprar 10 telhas (€110,00/m², aprox. R\$550,00/m²)
- É compatível apenas com o modelo de telha moldado

PRODUTO	COMENTÁRIOS	Nº COMPONENTES (Além da vegetação)	PESO SATURADO	VARIEDADE DE PLANTAS	CUSTO	TIPOS DE TELHADOS COMPATÍVEIS
Groendak	Sistema modular. Telha integrada a vegetação	1	45kg/m ²	Diversas espécies de <i>Sedum</i>	€110,00/m ² , aprox. R\$550,00/m ²	Estabelecimentos a serem construídos ou existentes com telha específica utilizada na Holanda

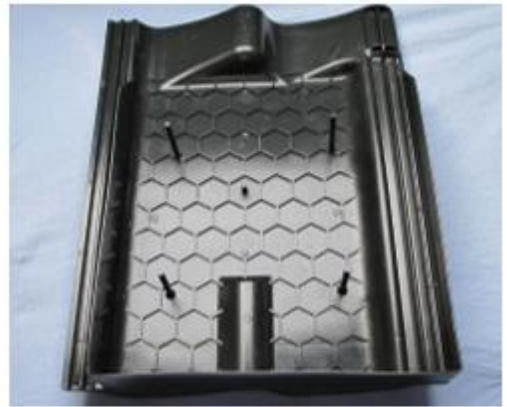


Figura 47: Imagens do modelo e instalação da Groendakpan, telha desenvolvida pela empresa Groendak.
Fonte: Groendakpan.nl.

EXPERIMENTO DE BRUNO REZENDE

Técnica criada pelo botânico Bruno Rezende, na qual utilizam-se 3 camadas de tecido que cumprem as funções de substrato, impermeabilização e proteção do sistema. A técnica faz uso de vegetação rupícola, epífita e psamófila. Nesse caso, as plantas são resistentes a altas temperaturas e períodos de seca e não precisam de terra para sobreviverem e se desenvolverem, enraizando no geotêxtil Bidim RT 16, no qual as plantas se hidratam e coletam os nutrientes necessários ao seu desenvolvimento.



Figura 48: Camadas do sistema proposto por Bruno Rezende. Foto de Bruno Rezende.

A técnica de autoria do botânico Bruno Rezende, assim como outras iniciativas, busca reduzir o custo e complexidade construtiva dos tetos verdes, isso foi obtido trocando materiais e substituindo o tipo de vegetação para plantas que não necessitam de terra fazendo com que o sistema tenha menor peso por metro quadrado, teoricamente

podendo ser aplicado em diversos tipos de telhado sejam lajes impermeabilizadas ou telhas de amianto, metálicas, plásticas ou cerâmicas, sem que haja reforço estrutural.

O sistema consiste no uso de três camadas de tecidos, sendo a primeira camada inferior, o geotêxtil Bidim RT10[®] de fibras de poliéster não tecidas (TNT-Tecido não tecido), responsável para proteger o sistema como um todo a fim de evitar punções nas camadas superiores caso existam pedras ou formas cortantes na superfície a ser sobreposta. A segunda camada é uma membrana impermeabilizante de PVC 0.8mm da marca Sansuy[®] e a terceira é um Bidim RT16[®], mais espesso que a primeira camada, e por apresentar fibras de poliéster abertas, o Bidim serve como meio de enraizamento e substrato para as plantas, assim como cumpre a função de reter umidade e nutrientes, na qual as plantas os absorvem por capilaridade. A irrigação foi testada com aspersores e por gotejamento, ambas foram eficientes.

O experimento foi parte da Tese de Doutorado de Bruno Rezende pelo Departamento de Engenharia Civil - Coppe/UFRJ e foi aplicado tanto em sua residência em Niterói (em uma casa com laje concretada e impermeabilizada), quanto numa residência com telhas de amianto na Favela do Arará, do proprietário Luís Cassiano. A técnica promoveu uma redução de até 11° C da temperatura interna superficial da telha de amianto vegetado em relação ao telhado de amianto da casa vizinha não vegetada. A temperatura do ar interno da residência reduziu em até 7°C na instalação em residência de cobertura lajeada e 5°C na cobertura com telhas de amianto, comparadas aos dias de verão sem a cobertura verde (SILVA, B. 2016)³¹

PONTOS POSITIVOS

- Teoricamente, pelo sistema ser composto de tecidos flexíveis, é adaptável a qualquer geometria de cobertura e telhas, porém só fora testado em telhado pavimentado e impermeabilizado e em cobertura de apenas uma água com telha de amianto, ou seja, não é comprovado que esse sistema funciona de fato sobre diversas telhas e tipos de telhados.

³¹ SILVA, B. **Telhados verdes em clima tropical: Uma nova técnica e seu potencial de atenuação térmica.** 2016. Tese (Doutorado) – Programa de Engenharia Civil, UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro, 2016.

- Comparado aos produtos convencionais, a técnica de Bruno Rezende possui menor número de elementos compondo o sistema, o que reduz o peso e custo (R\$67,00/m²) da técnica em até 50% do valor médio entre as técnicas existentes no mercado brasileiro e exterior.

PONTOS NEGATIVOS

- Demora para se ter os benefícios logo de cara pelo fato de não ser pré vegetado, os experimentos na casa de Bruno Rezende e Luís Cassiano levaram em média 18 meses para que houvesse recobrimento total da área do telhado.
- Nas montanhas das telhas de amianto da residência de Luís Cassiano, as raízes das plantas e o tecido de enraizamento ressecam rapidamente devido a exposição direta ao sol e a dificuldade em acumular a água, pois essa tende a escorrer para os vales.
- Não é um produto modular: Caso deva ser realizado algum reparo na telha ou manutenção do telhado, deve-se retirar toda a área vegetada ou cortar as 3 camadas de tecido para ter acesso ao que estiver embaixo dos tecidos e vegetação. Além disso, os elementos da técnica dificultam a eficiência logística (Precisa-se comprar Bidim, Vinimanta e vegetação de 3 lugares diferentes e transportar para o local).
- Gasta-se muita cola para colar os tecidos a telha
- Raízes se expõem demais ao sol e não resistem a incidência direta e constante do sol nos verões cariocas.
- Instalação ocorreu de maneira “experimental” com rolos de Bidim e plantas, ou seja, não se configurou como forma de produto.

PRODUTO	COMENTÁRIOS	Nº COMPONENTES (Além da vegetação)	PESO SATURADO	VARIEDADE DE PLANTAS	CUSTO	TIPOS DE TELHADOS COMPATÍVEIS
Bruno Rezende	Vegetação <i>in loco</i> , sistema baseado em camadas de tecidos, sem terra como substrato	3	Não calculado, apenas estimado em 50kg/m ²	Diversas (Rupícolas e epífitas)	R\$67,00/m ²	Telhados existentes com uso de telhas diversas e lajes concretadas



Figura 49: Evolução e recobrimento da vegetação na residência de Bruno Rezende em Niterói – RJ em um período de 2 anos e meio. Foto: Bruno Rezende.



Figura 51: Sistema proposto por Bruno Rezende sobre telhas de amianto na residência de Luís Cassiano na Favela do Arará em Benfica – RJ. Elaboração própria.



Figura 50: Detalhe do enraizamento da vegetação entre as fibras de poliéster do Bidim RT 16. Elaboração própria.



Figura 53: Teste realizado por Luís Cassiano demonstra a fixação da planta *Callisia repens* no tecido, mesmo que posicionado na vertical, indicando que a técnica pode ser utilizada em telhados de inclinação acentuada. Também gera ideias para aplicação da técnica em muros verdes.



Figura 52: Variedade de plantas no sistema de Bruno Rezende, dentre elas, plantas suculentas, rupículas e epífitas. Elaboração própria.

EXPERIMENTO ENACTUS UFRJ

Adaptação da técnica de Bruno Rezende, substituindo a camada impermeabilizante de PVC, a de maior custo, por banners descartados. A membrana de enraizamento Bidim RT 16 também foi substituída por uma manta de drenagem.

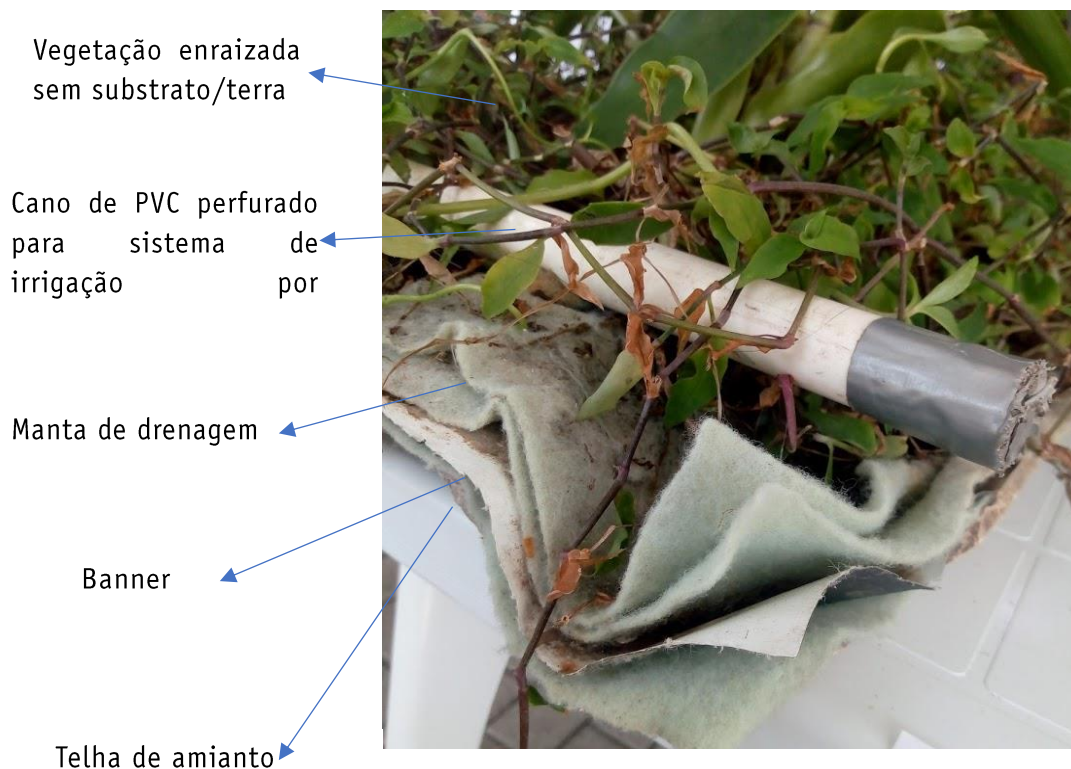


Figura 54: Sistema desenvolvido pela equipe Teto Verde da Enactus UFRJ. Originalmente foi colocado apenas uma camada de banner diretamente sobre a telha, uma camada de manta de drenagem e a vegetação por cima. Elaboração própria.

A Enactus UFRJ é uma ONG (Organização Não Governamental) internacional que possui uma filial no Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Em um período de 12 meses, o autor do presente projeto participou da equipe Enactus UFRJ e nesse período, o autor e sua equipe adaptaram a técnica de Bruno Rezende, substituindo a camada de maior custo do sistema (50% do custo total), a manta impermeabilizante de PVC, por banners descartados, que possuem o mesmo grau de hidrofobia e podem ser obtidos como material descartado.

A outra camada substituída foi o Bidim RT 16 pela manta de drenagem, a mesma é de menor custo e peso. O experimento foi um sucesso, após 5 meses do sistema sobre uma telha de amianto, verificou-se o desenvolvimento de uma variedade de plantas. Nesse sistema colocamos diretamente sobre a telha, sem cola, a camada de banner e por cima desta, uma camada de manta de drenagem, e em seguida, as plantas retiradas dos seus vasos iniciais, de início um pouco de terra foi deixada como substrato inicial para a adaptação das plantas, porém, com o experimento na casa de Luís Cassiano³², concluiu-se que essa quantidade de terra inicial não é necessária, somente auxilia o enraizamento das primeiras mudas a serem colocadas sobre a manta.

Essas mudanças reduziram metade do custo do sistema original, tornando-se uma possível técnica mais viável economicamente para o potencial mercado existente em favelas brasileiras, que sofrem com o intenso efeito das ilhas de calor, porém, testes de degradação e estanqueidade do sistema não foram realizados e o produto, assim como o de Bruno Rezende, ainda não possui aprovações técnicas para ser lançada no mercado.



Figura 55: Uma das vertentes da parceria entre Bruno Rezende, Luís Cassiano e a Equipe Teto Verde da Enactus UFRJ, foi a aplicação de cobertura vegetal diretamente sobre o Bidim RT 16 em caixas d'água para atenuar a temperatura da água nos dias de calor no Rio de Janeiro. Elaboração própria.

³² Oficina teto verde favela > <https://www.youtube.com/watch?v=Yn55seGt1pQ>



Figura 56: Evolução da vegetação no protótipo da equipe Teto Verde da Enactus UFRJ. Elaboração própria e da equipe Enactus UFRJ.

PRODUTO	COMENTÁRIOS	Nº COMPONENTES (Além da vegetação)	PESO SATURADO	VARIEDADE DE PLANTAS	CUSTO	TIPOS DE TELHADOS COMPATÍVEIS
Enactus UFRJ	Vegetação <i>in loco</i> , sistema baseado em camadas de tecidos, sem terra como substrato	2	Não calculado	Diversas (Rupícolas e epífitas)	R\$30,00/m ²	Telhados existentes com uso de telhas diversas e lajes concretadas

PRODUTO	COMENTÁRIOS	Nº COMPONENTES (Além da vegetação)	PE SO SATURADO	VARIEDADE DE PLANTAS	CU STO	TIPOS DE TELHADOS COMPATÍVEIS
Bauder Sedum Blanket System	Cobertor pré vegetado	2 componentes sendo 4 membranas (sanduíche termoformado)	44Kg/m ²	11 espécies de Sedum	Informação não disponível	Lajes ou telhados cobertos por telhas planificadas e reforçados estruturalmente
ZInCo Sedum Carpet	Sistema extensivo completo. Possui 9cm de altura total	5	95kg/m ²	Diversas espécies de Sedum	Informação não disponível	Lajes ou telhados cobertos por telhas planificadas e reforçados estruturalmente
Ecotelhado Laminar Médio	Sistema extensivo completo.	3	110kg/m ²	1 espécie de gramínea	R\$100,00/m ²	Lajes concretadas
Groendak	Sistema modular. Telha integrada a vegetação	1	45kg/m ²	Diversas (Sedum mix)	€110,00/m ² , aprox. R\$550,00/m ²	Estabelecimentos a serem construídos ou existentes com telha específica utilizada na Holanda
Bruno Rezende	Vegetação <i>In loco</i> , sistema baseado em camadas de tecidos, sem terra como substrato	3	Não calculado	Diversas (Rupícolas e epifitas)	R\$67,00/m ²	Telhados existentes com uso de telhas diversas e lajes concretadas
Enactus UFRJ	Vegetação <i>In loco</i> , sistema baseado em camadas de tecidos, sem terra como substrato	2	Não calculado	Diversas (Rupícolas e epifitas)	R\$30,00/m ²	Telhados existentes com uso de telhas diversas e lajes concretadas

Figura 57: Tabela comparativa entre os similares de sistemas de telhados verdes. Elaboração própria.

2.5.3 Considerações sobre a análise de similares

Sobre os modelos convencionais, é possível identificar que a maioria foca em soluções para coberturas pavimentadas impermeabilizadas, ignorando construções a serem elevadas ou que são cobertas por telhas plásticas, cerâmicas, de fibrocimento ou metálicas. Esse é um ponto importante, pois exclui uma grande quantidade de coberturas, potenciais nichos para um telhado verde. Além disso, ressalta-se que o custo de compra e instalação de um telhado verde no Brasil é em média R\$147,49/m² (ROSSETI et al., 2013). Essa estimativa representa um valor muito alto para a maior parte da população e é um dos motivos para que essa categoria de restauração ambiental não seja tão popular.

Resumindo, nota-se que as companhias disponibilizam técnicas semelhantes, sendo essas ainda de alto custo e complexidade e limitados a aplicação em lajes reforçadas estruturalmente. Sabe-se que por mais que as origens das tecnologias industriais de telhados verdes sejam datadas da década de 60, o desenvolvimento e disseminação dessas ainda é recente, o que explica a uniformidade dos produtos e suas restrições construtivas. Porém, como visto na análise de modelos experimentais, é possível identificar sistemas complementares e promissores ao mercado escasso de telhados verdes, pois sugerem novas abordagens mais práticas ou de menor custo.

Segundo uma pesquisa realizada por estudantes de biologia da York University, em Toronto – Canadá, o que promove a redução do calor é a diversidade das plantas, de acordo com a pesquisa, os telhados verdes avaliados que utilizam apenas plantas do tipo *Sedum* não obtiveram resultados significantes de redução de calor. Isso significa que a variedade de espécies empregadas no telhado é muito importante para que hajam efeitos ecológicos reais, além do atributo estético propiciado pelos tetos verdes (MACLAVOR, S. 2017)³³.

³³ MACLAVOR, S. Plant diversity and species selection improves green roof performance. Department of Biological Sciences - University of Toronto. Toronto. 2017. > http://www.gebaeudegruen.info/fileadmin/website/downloads/wgic_vortraege/MacIvor_Scott.pdf. (Acessado em 18/10/2018).

2.6 Requisitos e restrições a partir da pesquisa de similares

A partir dos aspectos positivos e negativos extraídos da avaliação dos produtos relacionados ao tema desta pesquisa, é possível traçar diretrizes para o desenvolvimento de soluções projetuais. Antes de definir tais atributos, foi necessário pesquisar as normas reguladoras brasileiras e leis acerca do objeto para que o produto final não ofereça riscos a estrutura do estabelecimento, seja causando infiltrações ou provocando incêndios e desabamentos.

Segundo Catuzzo ³⁴, no Brasil não existe uma normatização técnica ou lei nacional que regularize a elaboração e os elementos componentes de um telhado verde. Em 2011 foi elaborado um Projeto de Lei 1703 que dispõe sobre a instalação do telhado verde, o artigo 1º relata que condomínios verticais com mais de três unidades agrupadas, devem prever a instalação do telhado verde e sobre essa vegetação extensiva, deve ter um solo que varie entre 25mm e 127mm de espessura e, uma estrutura que suporte uma carga que varie entre 50 kg/m² e 250 kg/m². Apesar da existência do projeto de lei 1703 e algumas outras tentativas em São Paulo e Recife, não há norma para telhados verdes em si, logo, as empresas fornecedoras de tais produtos devem seguir a **NBR 15575_5_2019 Edificações habitacionais – Desempenho: Parte 5: Requisitos para sistemas de coberturas**, norma que define padrões estruturais a serem seguidos, dentre esses, critérios relativos a inflamabilidade, estanqueidade e comportamento físico-químico dos componentes do telhado.

³⁴ CATUZZO, H. **Telhado Verde: impacto positivo na temperatura e umidade do ar. O Caso da Cidade de São Paulo.** 2013. 206 f. Tese (Doutorado) – Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

Restrições

- Materiais do sistema devem ser incombustíveis e não propagarem chamas.
- O sistema deverá garantir a estanqueidade e impenetrabilidade de águas pluviais ou oriundas da irrigação.
- O produto deverá estar de acordo com os padrões de resistência mecânica recomendados pelas fabricantes das telhas e lajes concretadas e de acordo com a NBR 15575_5_2019.
- O produto deverá ser resistente às intempéries da região na qual for instalado, assim como garantir sua integridade física por um período de tempo prolongado.
- O sistema não deverá causar riscos a estrutura da casa, edifício ou galpão a ser instalado.

Requisitos

- O produto deverá ser modular para permitir a troca de peças e possibilidade de retirar facilmente para realizar manutenções (infiltrações, telha quebradas, reparos no geral) no telhado.
- Deve ser adaptável a telhados revestidos de lajes concretadas ou telhados cobertos por telhas de diversas geometrias, além de se adequar as diferentes tipografias de telhados.
- Deve funcionar como sistema à parte do telhado existente e também como um tipo de telha com vegetação embutida para edificações a serem construídas.
- Deve conter número reduzido de elementos construtivos para reduzir a complexidade de fabricação, funcionamento e instalação do sistema de telhado verde.
- Deve ser de baixo peso para facilitar o transporte, manuseio e instalação.
- Produto deve ser de fácil fabricação e de baixo custo, para ser compatível com o poder aquisitivo do público alvo.
- Deve promover redução de temperatura e diversidade ecológica.
- Deverá ser composto por materiais recicláveis ou reutilizáveis após o descarte.
- Deverá promover continuidade estética e proporcionar cenário visualmente agradável e natural a quem observar o produto.

Capítulo 3 - Desenvolvimento de soluções projetuais

Capítulo 3 - Desenvolvimento de Soluções Projetuais

Esclarecendo a caracterização e entendimento do tema da pesquisa e suas variáveis, é possível propor soluções realistas e adequadas ao contexto do problema discutido nesse trabalho. Esse capítulo aprofunda-se na elaboração de ideias e desenvolvimento de alternativas projetuais para a resolução do problema, considerando as questões materiais e imateriais que permeiam o Design de Produto.

3.1 Pesquisa de campo acerca de materiais relacionados ao produto

Feita a investigação sobre os problemas a serem abordados e como as tecnologias de telhado verde os atacam, pode-se avançar para a fase divergente de geração de ideias. Para que isso ocorra de maneira realista e compatível com os materiais e tecnologias existentes no mercado e com o público que as consome, diversos espaços e pessoas foram consultadas, como lojas de materiais de construção, floriculturas, empresas de telhados verdes, entre outros.

Para a geração de alternativas aos problemas previamente levantados, os principais componentes para elaboração e teste do sistema a ser desenvolvido podem ser divididos em três grupos: vegetação, substrato e o compartimento na qual esses se alocação de forma modular, cada agrupamento possui seus próprios requisitos e restrições, porém a interação entre esses grupos deve ocorrer harmonicamente em prol da eficiência e integridade do produto final, ou seja, as espécies de plantas serão testadas sob os critérios de sobrevivência, enraizamento e crescimento em relação aos diferentes tipos de substrato, que por sua vez serão avaliados pelas suas propriedades físicas e custo. A combinação entre as plantas e o substrato também deve interagir com o módulo que acomodará esses elementos, ou seja, o produto a ser desenhado e produzido de fato.

A partir das pesquisas do capítulo anterior, observou-se que em relação a vegetação e meio de crescimento das plantas utilizadas no produto a ser definido, a escolha mais promissora devido ao baixo peso proporcionado, menor frequência de

manutenção e maior compatibilidade climática com as características climatológicas do Brasil, é a vegetação do sistema com espécies rupícolas e epífitas.

Nessa pesquisa, foram observadas diferentes espécies de plantas e substratos além daqueles utilizados nos sistemas avaliados, visando a diversidade ecológica e suas vantagens, por exemplo, na avaliação do desempenho de plantas medicinais ou pelo plantio de plantas nativas em decréscimo no cenário ambiental brasileiro incentivando a restauração ambiental, uma vez que essas espécies seriam multiplicadas sobre as coberturas que preenchem o espaço urbano nacional.

VEGETAÇÃO

No ensaio de Bruno Rezende foram experimentadas mais de duzentas espécies sendo estas: nativas e exóticas, rupícolas, epífitas, psamófilas, aquáticas e terrestres. Dentre a amostra examinada, o botânico identificou as variedades de maior destaque em relação ao crescimento, enraizamento e comportamento dessas no sistema que propôs, entre elas estão algumas espécies de bromélias e a *Callisia repens*, detentoras dos melhores índices de retenção de água e isolamento térmico e mais rápido recobrimento superficial, respectivamente. Nessa pesquisa, foram testadas tanto espécies recomendadas pelo próprio Bruno Rezende, quanto espécies indicadas por outros partidos e pelo nosso (do autor e do orientador do projeto) interesse em descobrir se dada espécie sobrevive ou não em determinado substrato e configuração de sistema, resultaram em novas combinações interessantes à questão ambiental do projeto.

Em conversas com o estudante de biologia e pesquisador do núcleo de plantas medicinais do Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Gustavo Borja, o mesmo salientou que a maioria das espécies com propriedades medicinais são terrestres, porém, uma porção dessas apresentam características adequadas a utilização em telhados verdes sem terra como substrato. As plantas com propriedades medicinais indicadas por Gustavo Borja e que foram encontradas e adquiridas no Horto UFRJ e no Mercado das Flores da CADEG RJ – Centro de Abastecimento do Estado da Guanabara, foram: *Kalanchoe brasiliensis* (Saião; Aranto; Folha da Costa; Folha da Fortuna), *Sedum dendroideum* (Bálsamo) e *Peumus boldus* (Boldo Chileno; Boldo-do-Chile).

Além das espécies recomendadas pelo biólogo Gustavo Borja e destacadas pela pesquisa de Bruno Rezende, outras plantas foram doadas pelo Horto da UFRJ e pela Floricultura Cantinho das Flores em Botafogo-RJ, no qual trocamos informações com os profissionais de cada estabelecimento. As mudas obtidas foram testadas em diferentes meios de enraizamento (substratos) e sob condições simuladas à situação real dos telhados, onde o produto seria instalado, ou seja, sob efeito das intempéries. Os testes para observar o comportamento das plantas foram realizados sob o regime de chuvas carioca entre meados de Agosto de 2018 e início de Dezembro do mesmo ano, irrigando com água não potável nas primeiras semanas todos os dias para que as plantas pudessem se adaptar ao novo sistema sem a terra como substrato, e posteriormente, a frequência da irrigação foi diminuindo até que nas últimas duas semanas as plantas foram deixadas sem hidratação para avaliar o comportamento em períodos de seca.

O ideal para um sistema de telhado verde é que não precise de irrigação devido ao gasto com água e com os equipamentos de irrigação e a sua instalação, porém, devido as altas temperaturas e períodos de seca do clima brasileiro, esse objetivo se torna complicado para os sistemas convencionais de telhado verde. Porém, um dos objetivos dessa pesquisa utilizando plantas rupícolas e epífitas (dentre essas algumas foram identificadas em locais onde não há irrigação alguma) é que o sistema de irrigação possa ser descartado, em razão da pré vegetação e escolha seletiva de plantas resistentes.

As plantas foram analisadas sob os seguintes aspectos:

- Sobrevivência - Avalia se a espécie resiste ou não naquele meio.
- Enraizamento - Avalia o desenvolvimento radicular da planta, ou seja, observa o entrelaçamento e fixação das raízes no meio de enraizamento.
- Crescimento e reprodução – Avalia a saúde da planta e seu desenvolvimento físico, além da sua propagação vegetativa.

A seguir encontra-se a lista das 18 espécies obtidas para os testes, seguidas do seu nome popular e família botânica. Dentre os próximos tópicos do presente relatório, encontra-se uma tabela mais ilustrativa apresentando as imagens das plantas, os substratos e os modelos de compartimento testados e avaliados.

- *Acalypha reptans*. Rabo-de-Gato. *Euphorbiaceae*
- *Aloe vera*. Aloe vera. *Xanthorrhoeaceae* *
- *Agave angustifolia*. Piteira-do-dragão. *Asparagaceae*
- *Agave attenuata*. Agave dragão. *Asparagaceae*
- *Aechmea chantinii*. Bromélia zebra. *Bromeliaceae*
- *Neoregelia rubrifolia*. Neoregelia rubrifolia. *Bromeliaceae*
- *Peumus boldus*. Boldo- do-Chile. *Monimiaceae* *
- *Callisia fragans*. Planta de cesto. *Commelinaceae*
- *Callisia repens*. Dinheiro em penca. *Commelinaceae*
- *Fittonia albivenis*. Fitônia. *Acanthaceae*
- *Kalanchoe brasiliensis*. Saião. *Crassulaceae* *
- *Kalanchoe daigremontiana*. Aranto. *Crassulaceae* *
- *Kalanchoe daigremontiana*. Mãe-de-milhares. *Crassulaceae* *
- *Kalanche delagoensis*. Mãe-de-milhares. *Crassulaceae*
- *Sansevieria trifasciata*. Espada de São Jorge. *Asparagaceae*
- *Sedum makinoi* ogon. Sedum Makinoi Ogon. *Crassulaceae*
- *Sedum dendroideum*. Bálsamo. *Crassulaceae* *
- *Selaginella spp.* Musgo Cushion-Moss. *Selaginellaceae*

* = Possui propriedades medicinais.

SUBSTRATO

O substrato é o meio de enraizamento e crescimento das plantas, onde as mesmas absorvem nutrientes e se hidratam. Como visto no capítulo anterior, os sistemas convencionais de telhados verdes utilizam o solo, composto de material orgânico, para acomodar as plantas terrestres em seus sistemas. O substrato terra, por reter umidade e nutrientes, é uma garantia de que as espécies plantadas ali vão sobreviver e florescer pois é o substrato natural compatível com a morfologia da maioria das plantas que vemos nas florestas ou em hortas e jardins nos espaços urbanos , porém, sua grande desvantagem é a sua alta densidade que oferece riscos ao telhado e não permite a facilidade construtiva dos sistemas, além disso, devido ao fato de ser um meio rico em nutrientes, a proliferação de pragas ou espécies invasoras também se torna mais fácil.

Para substituir essa camada, o botânico Bruno Rezende utilizou o geotêxtil Bidim, e esse, como mencionado anteriormente, retém umidade e permite o entrelaçamento das raízes de plantas rupícolas e epífitas, configurando um material interessante para sistemas de telhado verde pois é leve, flexível e de baixo custo por metro quadrado (de R\$5,00 a R\$7,00 por metro quadrado). O sucesso desse substrato já foi confirmado pelos experimentos de Bruno Rezende, porém, para que essa pesquisa seja mais rica, foram testados e pesquisados novos materiais, de origens orgânicas ou sintéticas, avaliando critérios relativos à tecnologia de telhados verdes como:

- Higroscopia – Capacidade de retenção de umidade.
- Inflamabilidade – Grau que regula a propagação de chamas ou combustão do material.
- Resistência mecânica – Avalia a integridade e uniformidade do material.
- Degradação – Avalia a degradação do material sob efeitos do tempo e intempéries.
- Capacidade de enraizamento – Avalia a interação das raízes das plantas com o meio, observa se as plantas são capazes de enraizar no substrato.

Para a busca de novos substratos, floriculturas e lojas de tecidos e construção civil foram exploradas, visando buscar um material que pudesse ser nutritivo por si só ou que fosse de origem orgânica para substituir o geotêxtil de poliéster, e que ao mesmo tempo fosse de baixo peso, hidrofílico e ignífero. Para que isso fosse verificado, houve uma pré-seleção de materiais e esses foram submetidos a testes caseiros, buscando aferir suas propriedades e potências para a pesquisa. Os materiais inicialmente considerados foram esses representados na figura abaixo:



Figura 58: Substratos testados na pesquisa. Elaboração própria.

Além desses materiais, outros foram pesquisados, como a lã de rocha feita a partir de minerais; lã de vidro; espuma floral; espuma fenólica para hidroponia; algodão hidrofílico e a planta *Tillandsia usneoides* (Barba-de-velho) ressecada. Tais substratos foram descartados da fase de testes porque não foram encontrados em quantidades e configurações adequadas nas lojas visitadas no Rio de Janeiro ou apresentaram propriedades nocivas ao projeto logo de imediato, porém, esses elementos foram arquivados para pesquisas futuras.

O teste de inflamabilidade dos materiais foi feito de modo caseiro, uma chama deflagrada por um isqueiro foi apontada para os corpos de prova por um período de 2 segundos, avaliando a resposta física de cada amostra. O procedimento foi realizado com os 6 substratos apresentados acima e também com o geotêxtil Bidim. Durante o teste, foi observado que os substratos apresentaram três níveis de inflamabilidade:

- Baixo – O material resistiu ao calor inicialmente, se fundiu ou degradou e a chama não foi propagada e se apagou rapidamente.
- Médio – O material resistiu ao calor inicial, porém continuou pegando fogo.
- Alto – A chama alastrou-se rapidamente pelo material e propagou-se pelo corpo de prova.



Figura 59: Sequência das etapas do teste de inflamabilidade. Nota -se que o feltro com resina derreteu e a chama se apagou após alguns segundos. Classificação: Baixo. Elaboração própria.



Figura 610: Teste de inflamabilidade do Musgo Esfagno. Classificação: Médio. Elaboração própria.

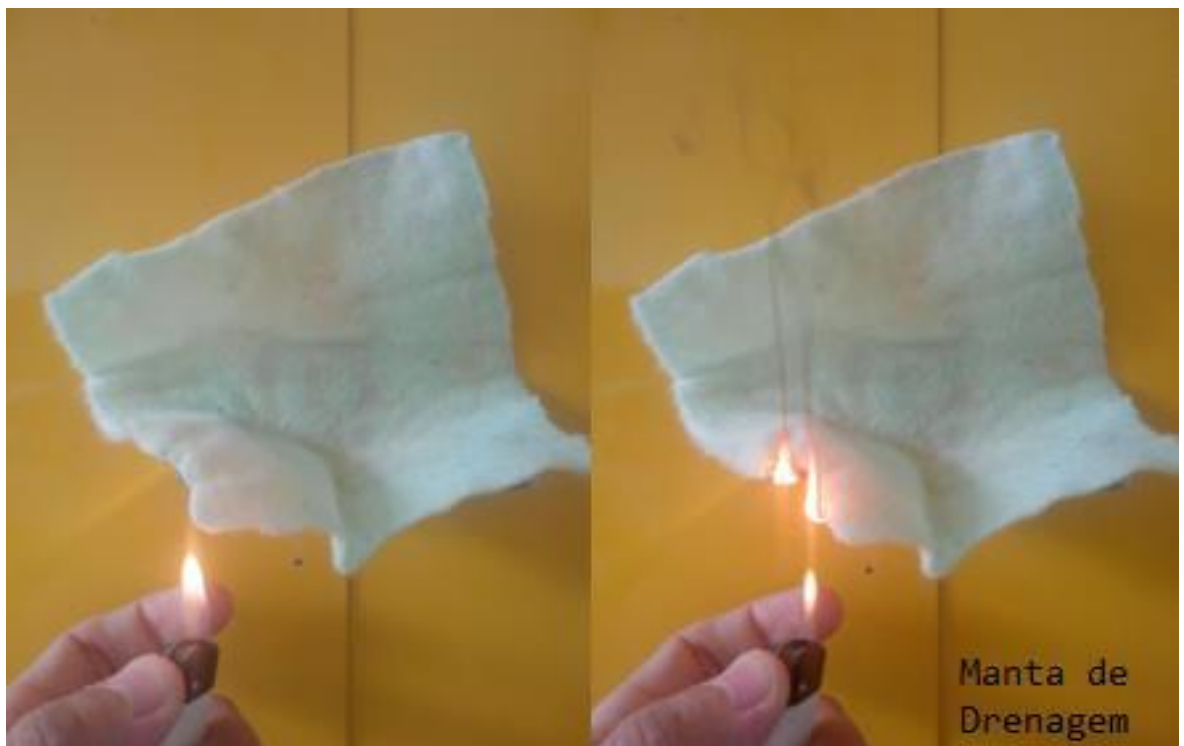


Figura 601: Teste de inflamabilidade da Manta de Drenagem. Classificação: Média. Elaboração própria.



Figura 62: Teste de inflamabilidade do Coquim. Classificação: Baixa (Material demorou a pegar fogo e a chama não se espalhou pelo corpo de prova. Elaboração própria.



Figura 63: Teste de inflamabilidade do Feltro Agulhado. Classificação: Alta. Elaboração própria.



Figura 64: Teste de inflamabilidade da Fibra de Coco. Classificação: Alto. Elaboração própria.



Figura 65: Teste de inflamabilidade do Bidim RT32. Classificação: Baixo. Elaboração própria.

O teste de inflamabilidade com os materiais foi feito para ter uma noção da resposta de cada item a uma hipotética situação de incêndio em um estabelecimento, porém, os testes caseiros não representam a total exatidão demandada pelas normas técnicas e também desconsideram a presença da umidade que as plantas e chuva ou irrigação poderiam proporcionar ao substrato no telhado, fato que afeta diretamente a resposta dos materiais ao calor ou chamas, por exemplo, o musgo esfagno absorve e retém muito bem a água, logo, quando saturado, retardaria mais a propagação do fogo do que quando testado no estado seco.

Pelos testes foi possível observar que todos os materiais são inflamáveis, porém uns apresentam menos risco do que outros, destacando o Bidim, o Feltro com resina e o Coquim.

SUBSTRATO	INFLAMABILIDADE
SINTÉTICOS	
Bidim RT32	Baixo
MANTA DE DRENAGEM	Média
FELTRO AGULHADO	Alto
FELTRO COM RESINA	Baixo
NATURAIS	
COQUIM	Baixo
FIBRA DE COCO	Alto
MUSGO ESFAGNO	Médio

Figura 66: Tabela que apresenta o grau de inflamabilidade de cada material observado pelos testes.

Para os testes de higroscopia (grau de absorção de água por um material), foi despejada uma quantidade pequena de água, o equivalente a aproximadamente 200mL de água não filtrada e observou-se a resposta do material. O grau de retenção de umidade é muito importante para a pesquisa, pois as plantas precisam se hidratar através de alguma fonte de armazenamento de água além da captação de água da chuva para que se mantenham saudáveis em diferentes condições climáticas. Além disso, a maior retenção de umidade permite melhor isolamento térmico do sistema. A seguir encontra-se o registro do teste de absorção de água de cada material, classificados em baixa, média ou alta absorção, sendo:

- Baixa – Material não reteve água inicialmente ou após um tempo em contato com a água. Além da umidade evaporar facilmente com o tempo.
- Média – Material reteve água, porém não de imediato e não por muito tempo.
- Alta – Material reteve água assim que entrou em contato com a mesma e armazenou umidade por um bom tempo.



Figura 67: Teste de higroscopia do Feltro com resina. Classificação: Baixa. Elaboração própria.



Figura 68: Teste de higroscopia do Musgo esfagno. Classificação: Alta. Elaboração própria.

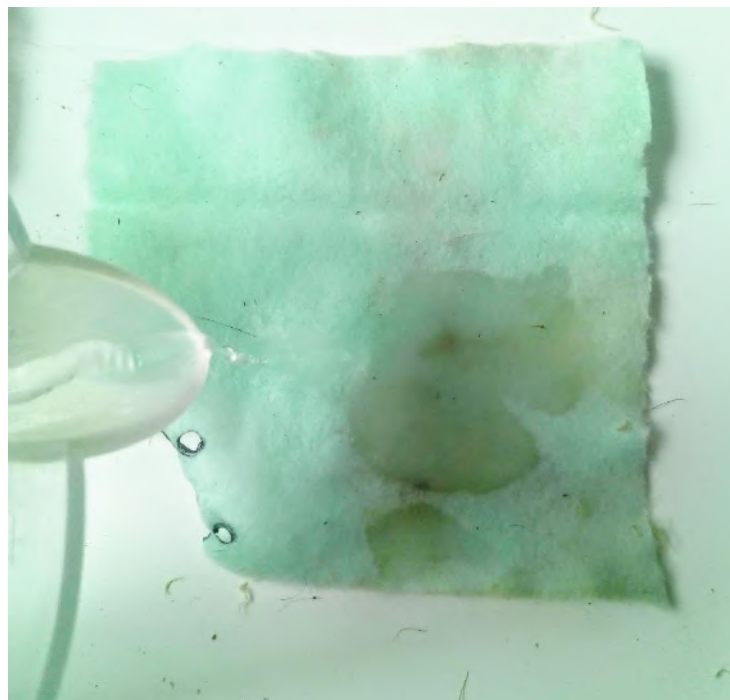


Figura 689: Teste de higroscopia da Manta de drenagem. Classificação: Alta. Elaboração própria.



Figura 7069: Teste de higroscopia da Fibra de coco. Classificação: Baixa. Elaboração própria.



Figura 701: Teste de higroscopia do Coquim. Classificação: Baixa. Elaboração própria.

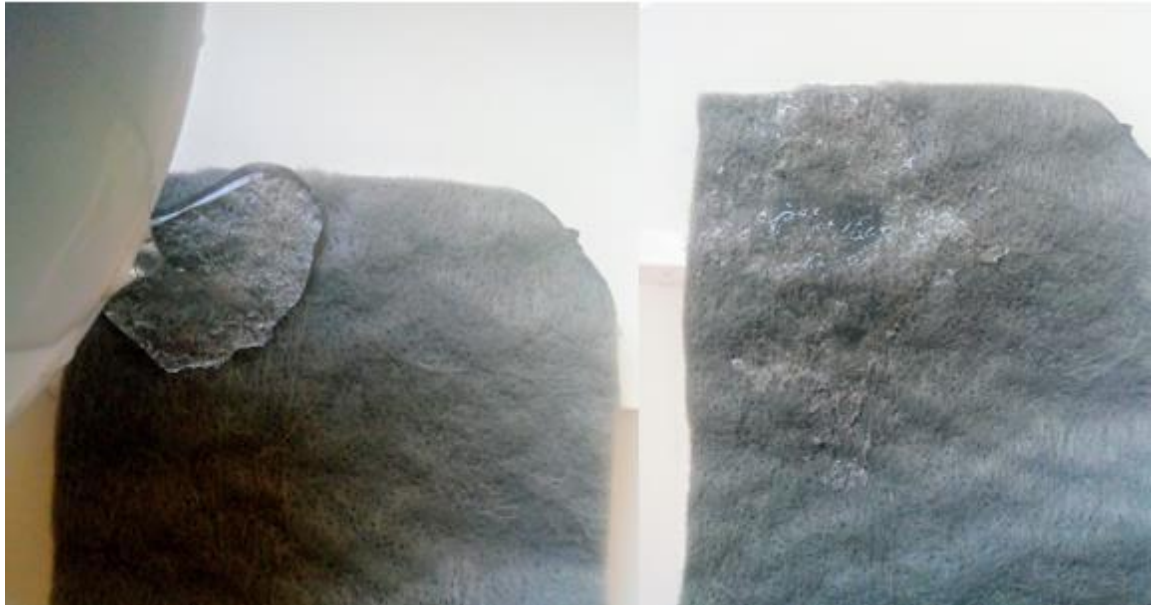


Figura 71: Teste de higroscopia do Bidim RT32. Classificação: Média. Elaboração própria.



Figura 72: Teste de higroscopia do Feltro agulhado. Classificação: Média. Elaboração própria.

É importante considerar que alguns materiais como o Bidim, apresentam características hidrofóbicas inicialmente, porém após um tempo se tornam hidrofílicos devido a ação das intempéries e maior tempo de contato com a umidade. Para isso as amostras que não tiveram boas taxas de absorção de água inicialmente foram submersos por uma semana em um balde com água e verificou-se que o Bidim, o feltro agulhado e o feltro com resina mantiveram a água por mais tempo e com mais facilidade, enquanto que a fibra de coco e o Coquim (fibra de coco com látex natural) não mudaram suas propriedades e continuaram altamente hidrofóbicas, o que é um grande aspectos negativos desses materiais para a pesquisa.



Figura 73: Teste de higroscopia após longo período em contato com a água. Elaboração própria.

Pelos testes que avaliaram o grau de higroscopia do material, concluiu-se que o Musgo esfagno e a Manta de drenagem obtiveram os melhores resultados, pois armazenaram a água por muito tempo, enquanto que a fibra de coco e o Coquim não demonstraram um grau de higroscopia bom o suficiente para os critérios da pesquisa. Os demais materiais, Bidim, feltro agulhado e feltro com resina, armazenaram água, porém não por muito tempo e não de imediato após o contato com a água em queda. A seguir encontra-se o resumo dos resultados do teste de absorção de água dos substratos.

SUBSTRATO	HIGROSCOPIA
SINTÉTICOS	
Bidim RT32	Média
MANTA DE DRENAGEM	Alta
FELTRO AGULHADO	Média
FELTRO COM RESINA	Média
NATURAIS	
COQUIM	Baixa
FIBRA DE COCO	Baixa
MUSGO ESFAGNO	Alta

Figura 74: Tabela com resultados dos testes de grau de higroscopia dos substratos.

Em relação aos outros aspectos relevantes a classificação dos substratos os mesmos foram julgados pelas suas configurações físicas, desempenho durante os testes de enraizamento das plantas e também em relação ao custo e grau de degradação de cada material. Somando esses elementos representados na tabela com os resultados dos testes, podemos definir que o substrato de melhor desempenho e custo benefício o geotêxtil Bidim e este será o substrato do produto a ser desenvolvido, A fim de compilar as observações feitas, uma tabela comparativa foi concebida para o registro da pesquisa:

SUBSTRATO	DESCRIÇÃO	HIGROSCOPIA	INFLAMABILIDADE	UNIFORMIDADE / RESISTÊNCIA	DEGRADABILIDADE	CUSTO	NOTA
SINTÉTICOS							
Bidim RT32	100% Fibras de Poliéster	Alta	Baixo	Média	Média	Baixo (R\$4,00 - R\$7,00/m ²)	Boa
MANTA DE DRENAGEM	100% Fibras de Poliéster	Alta	Média	Média	Média	Baixo (R\$4,00 - R\$7,00/m ²)	Boa
FELTRO AGULHADO	Fibras de tecidos reciclados	Média	Alto	Média	Média	Médio (R\$15,00/m ²)	Média
FELTRO COM RESINA	Fibras de tecidos reciclados com resina	Média	Baixo	Alta	Baixa	Médio (R\$15,00/m ²)	Média
NATURAIS							
COQUIM	Manta de fibra de coco com látex natural	Baixa	Baixo	Alta	6 a 24 meses (Média)	Alto (R\$28,00/m ²)	Média
FIBRA DE COCO	Fibra de coco ressecada	Baixa	Alto	Baixa	Média (Decompõe-se)	Baixo (R\$10,00/1kg)	Ruim
MUSGO ESFAGNO	Musgo sphagnum ressecado	Alta	Médio	Baixa	Média (Decompõe-se)	Médio (R\$5,00 - 40,00/1kg)	Média

Figura 75: Tabela com os resultados dos testes e avaliação dos substratos. Elaboração própria.

3.2 Desenvolvimento de alternativas projetuais

Uma vez que a vegetação foi selecionada assim como os substratos para essa foram caracterizados, pode-se avançar para a fase de desenvolvimento de um compartimento modular que acomodará vegetação e substrato. Essa etapa consiste na geração de ideias formais que buscam solucionar pontos específicos levantados pela análise de similares e pesquisa acerca de telhados verdes. Podemos categorizar as alternativas geradas em três grupos destinados ao desenvolvimento de sistemas para telhados verdes: Módulo de telhado verde integrado à telha; Módulo para *retrofit* de telhados existentes e um módulo que chamaremos de Painel Verde, contendo as duas funcionalidades que será detalhado mais à frente.

3.2.1 Módulo de telhado verde integrado à telha

Inicialmente houve dúvida entre desenhar um módulo que fosse destinado ao *retrofit* de telhados (instalar produto por cima do telhado existente) ou criar uma telha que já contivesse a vegetação, integrando telha e vegetação em um só produto, para que módulos pré vegetados fossem cultivados em um armazém nos centros urbanos. Como as empresas convencionais de telhados verdes se concentram em fazer um produto para complementar os telhados existentes (*retrofit*), a segunda opção, de desenvolver uma telha integrada a vegetação para estabelecimentos a serem construídos ou para quem deseje substituir o tipo de telhado, pareceu mais promissora, pois poderia resolver três grandes problemas encontrados na escassa indústria de telhados verdes:

- O tempo demorado para o recobrimento vegetal da superfície do telhado e obtenção dos efeitos do telhado verde. Uma telha com plantas incorporadas na própria forma permitiria o desfrute dos benefícios do telhado verde assim que fosse instalada.
- A questão ambiental relacionada a logística das empresas de telhados verdes existentes, que precisam importar a vegetação de campos afastados dos centros urbanos, demandando transporte de diversos elementos, como terra e plantas, muitas vezes de localidades distantes umas das outras e do local onde o sistema será instalado.
- Instalação de um telhado verde custa dinheiro, tempo e mão de obra, tanto por parte do cliente quanto por parte da empresa que vende o produto.

Logo, uma pessoa que deseje um telhado verde em seu estabelecimento com telhado ainda a ser construído ou substituído, para essa valha mais a pena comprar uma telha já integrada ao sistema de telhado verde do que adquirir um telhado convencional e posteriormente instalar um telhado verde.

ALTERNATIVA 01 – TELHA TIPO CERÂMICA COM VEGETAÇÃO INTEGRADA

Seguindo esse caminho, os sketches iniciais foram destinados ao projeto de uma telha inspirada nas telhas cerâmicas brasileiras, porém com vegetação integrada. Como o barro da cerâmica é pesado e de origem orgânica, o risco de acumular água e danificar a telha com infiltração ou proliferação de musgos seria muito alto, logo o material deveria ser o mais impermeável possível, de baixo peso e possível de ser moldado de acordo com as formas pensadas abaixo.

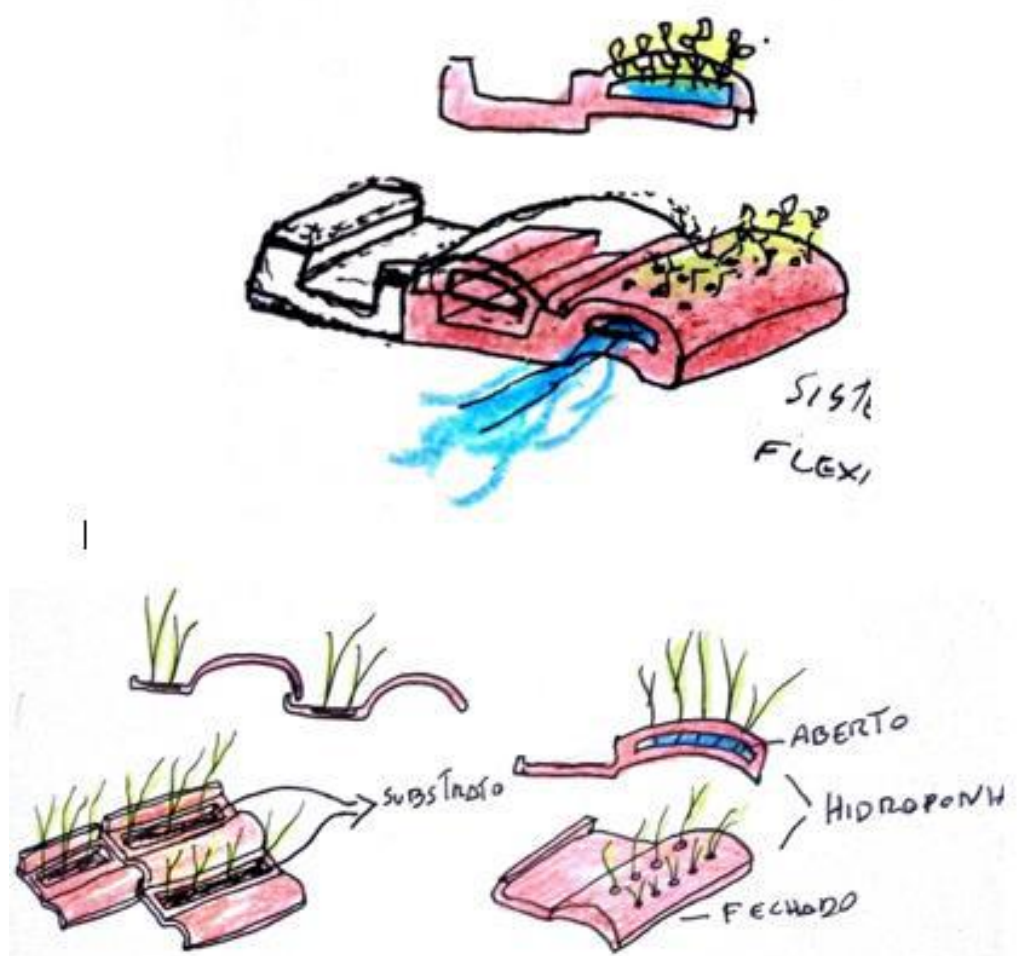


Figura 76: Desenhos iniciais visando a interação entre plantas e telha. Elaboração

Pensando nessa forma e no material, concluiu-se que o material deveria ser polimérico e a forma deveria ser injetada ou termo formada, porém, devido ao formato moldado exclusivo de uma telha do tipo cerâmica, sua aplicação seria limitada à apenas um tipo de telha ou diversos tipos de molde deveriam ser feitos para que houvesse abrangência de mercado, isso encareceria muito a fabricação e o custo final do produto, já que para preencher 1m² de telhado utiliza-se em média 16 telhas cerâmicas dos tipos mais comuns Portuguesa, Romana e Colonial. Esse valor traduzido em um produto polimérico seria muito alto. Com isso, partimos para a elaboração de desenhos com dimensões maiores e espessuras menores, guiados pelas telhas de grande porte.

ALTERNATIVA 02 – TELHA SANDUÍCHE COM VEGETAÇÃO INTEGRADA

Inspirada nas telhas termo acústicas ou popularmente conhecidas como telhas sanduíche, que possuem uma camada de espuma de poliuretano acomodada por duas lâminas de alumínio ou aço galvanizado, a alternativa 02 foi gerada a partir dessa mesma lógica, onde a telha produzida a partir da extrusão e termo formação de uma chapa possui funções secundárias além daquela principal de cobrir um teto. No caso do telhado verde, o “recheio” das telhas seria o substrato para as plantas e os efeitos de isolamento termo acústicos também seriam obtidos pela camada natural incorporada à telha. Abaixo encontra-se um comparativo entre telhas sanduíches e a alternativa elaborada.

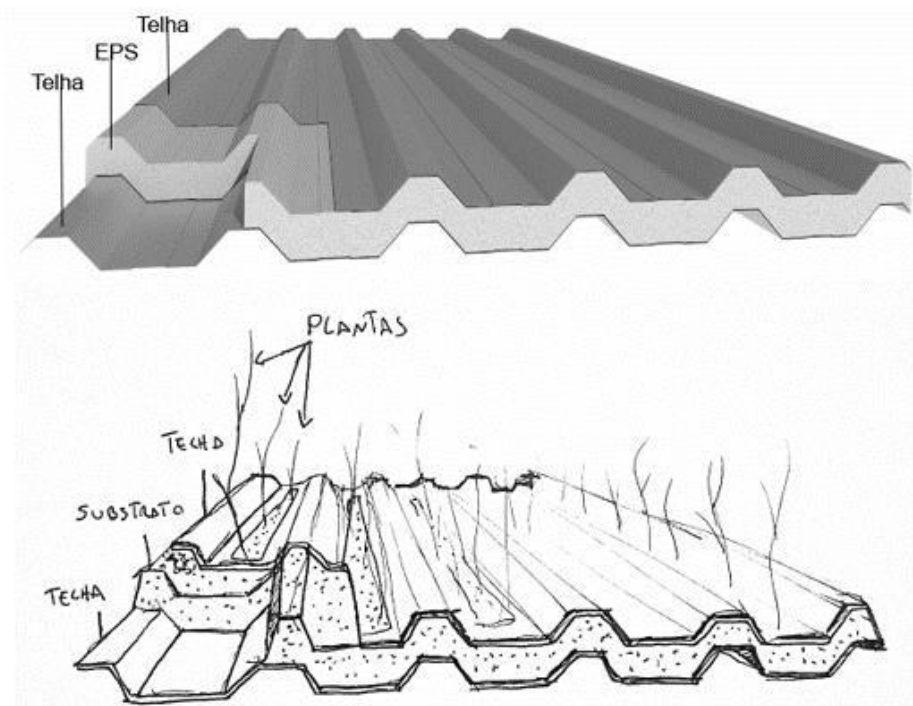


Figura 77: Sketch da alternativa inspirada nas telhas sanduíche. Elaboração própria.

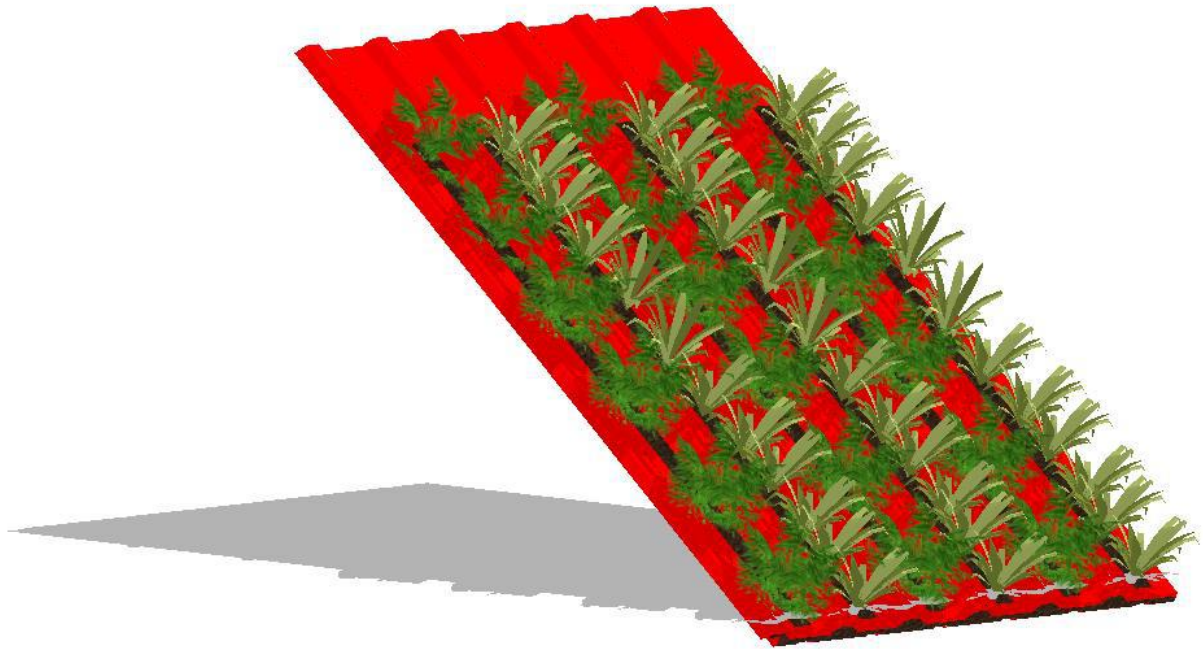


Figura 78: Alternativa telha sanduíche. Elaboração própria.

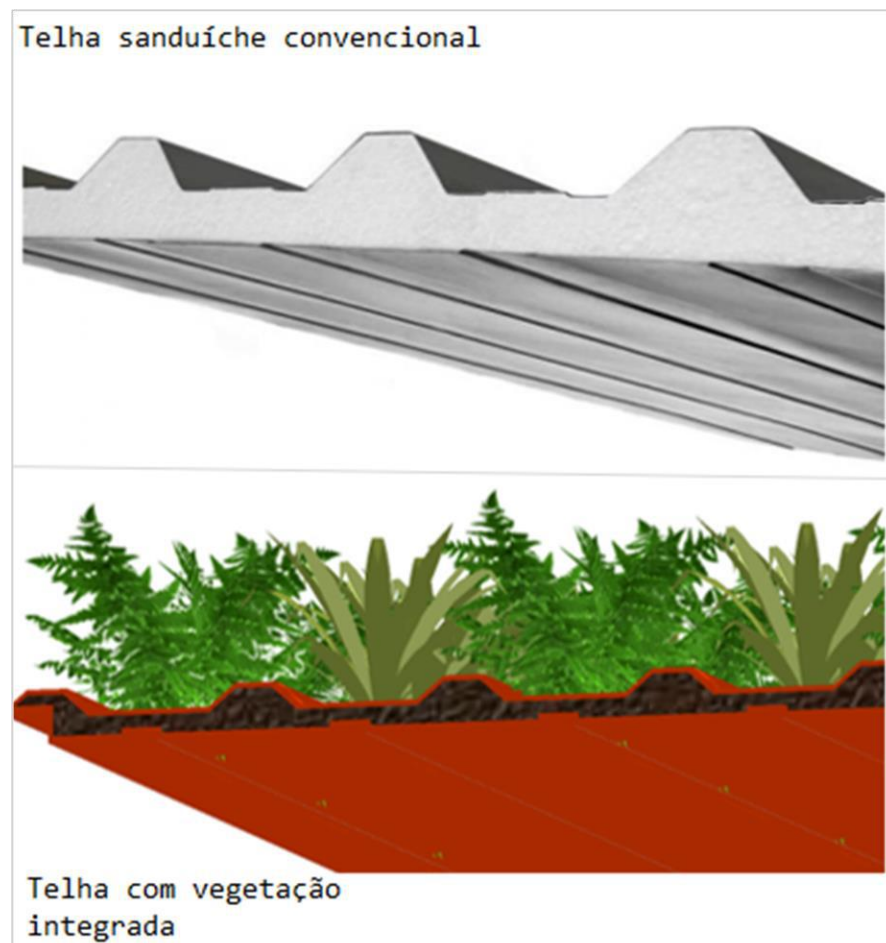


Figura 79: Detalhes da comparação entre a alternativa e telha termo acústica convencional. Elaboração própria.

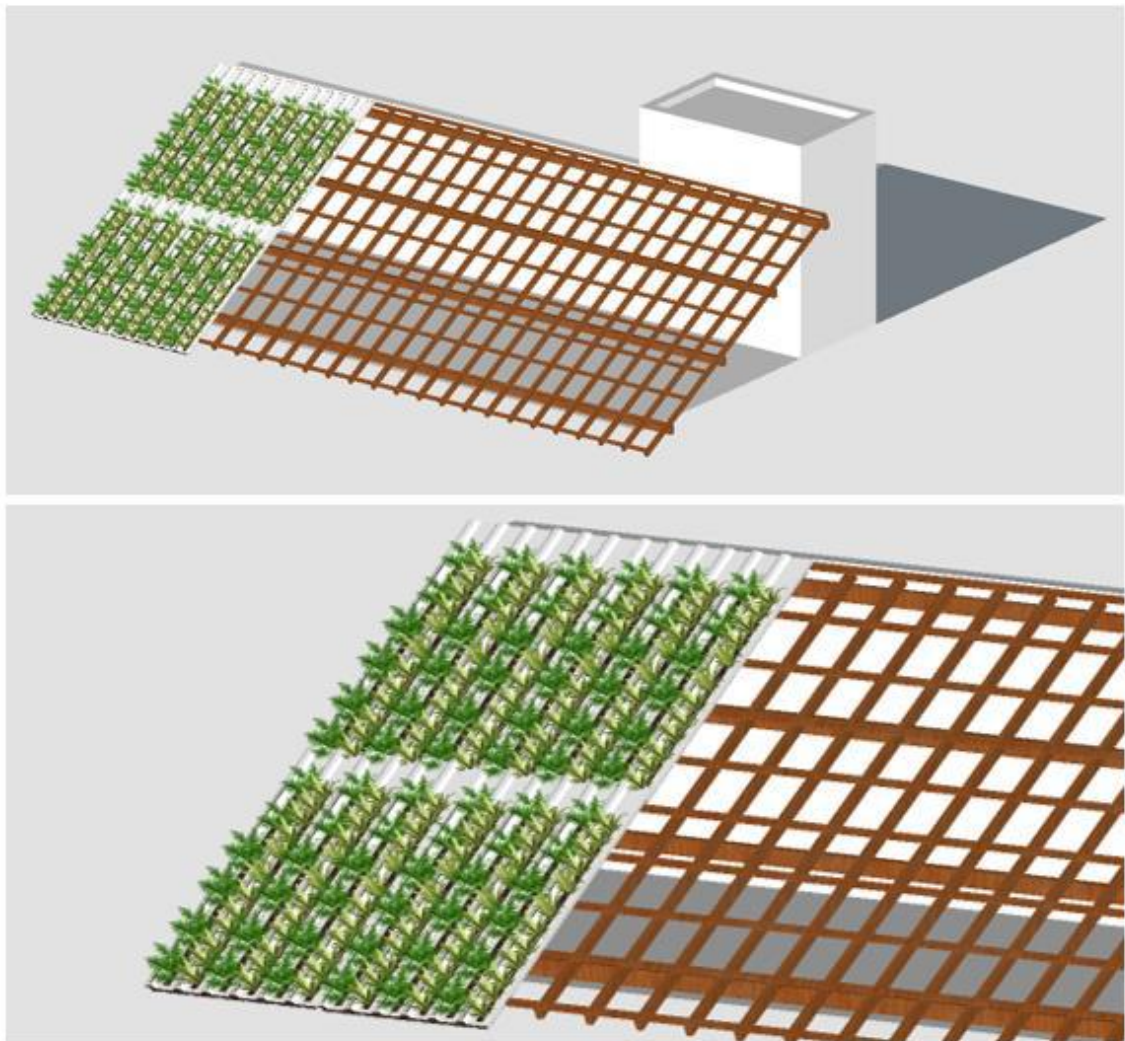


Figura 80: Simulação da aplicação em telhado com engradamento de madeira. Elaboração própria.

Para essa alternativa tomamos como base para dimensionamento o tamanho padrão de telhas de porte grande, 2,44m x 1,10m, para que houvesse maior recobrimento da área do telhado com apenas uma unidade do produto. Porém, o peso que o substrato e as plantas agregassem à telha seria um dificultador nos momentos de transporte e instalação da mesma. Sabendo disso, novos modelos com menores dimensões gerais foram feitos e alguns *mock-ups* foram gerados a fim de observar a relação entre as plantas, os substratos e a geometria do módulo.

O princípio para essas variações dentro da Alternativa 02, remetente às telhas sanduíche, foi adaptado para a acomodação das plantas fazendo rasgos nos vales ou montanhas das telhas e mudando os materiais que comporiam o produto. A presença de uma segunda camada que fica por cima do substrato se deve à proteção das raízes à exposição ao sol, ao melhor armazenamento de água e também à fixação do substrato na camada inferior. Com isso foram feitos mais alguns sketches, modelos 3D e físicos, considerando as diversas combinações de materiais que poderiam ser utilizados.

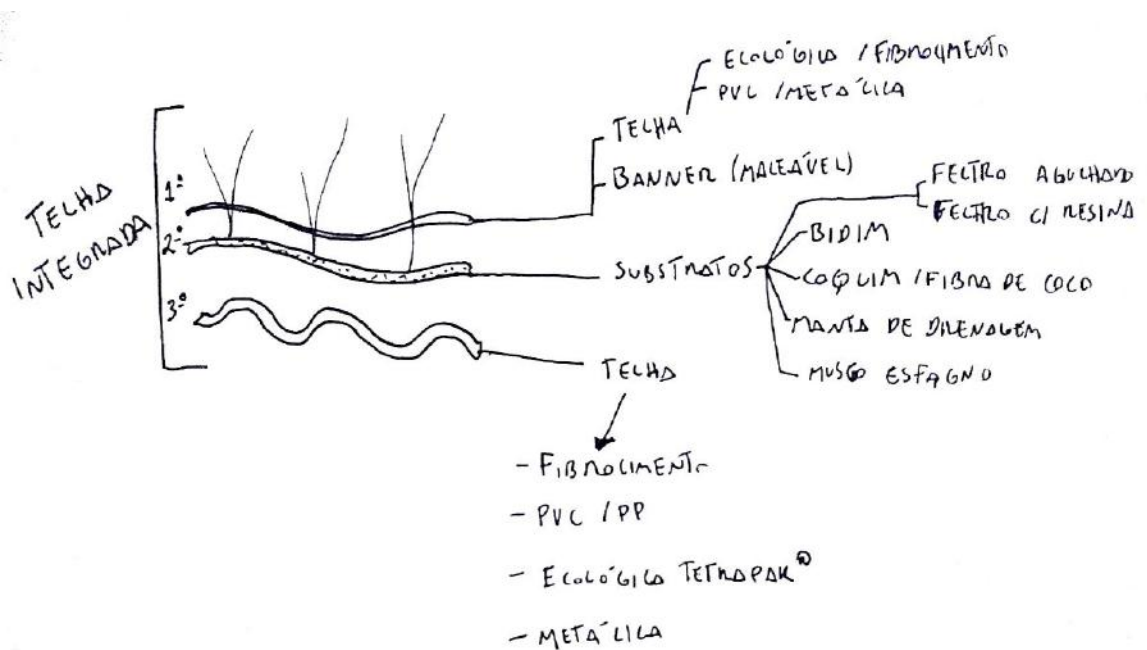


Figura 81: Possíveis combinações entre materiais para as camadas externas do conjunto e os substratos. Elaboração própria.

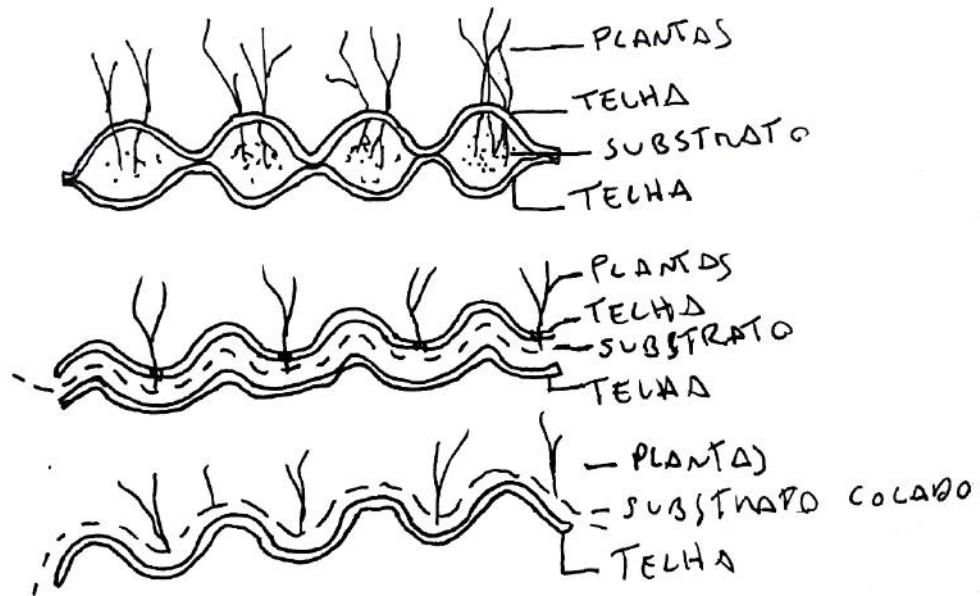


Figura 82: Esquema com as possibilidades de configuração do sistema com a telha integrada à vegetação. Elaboração própria.

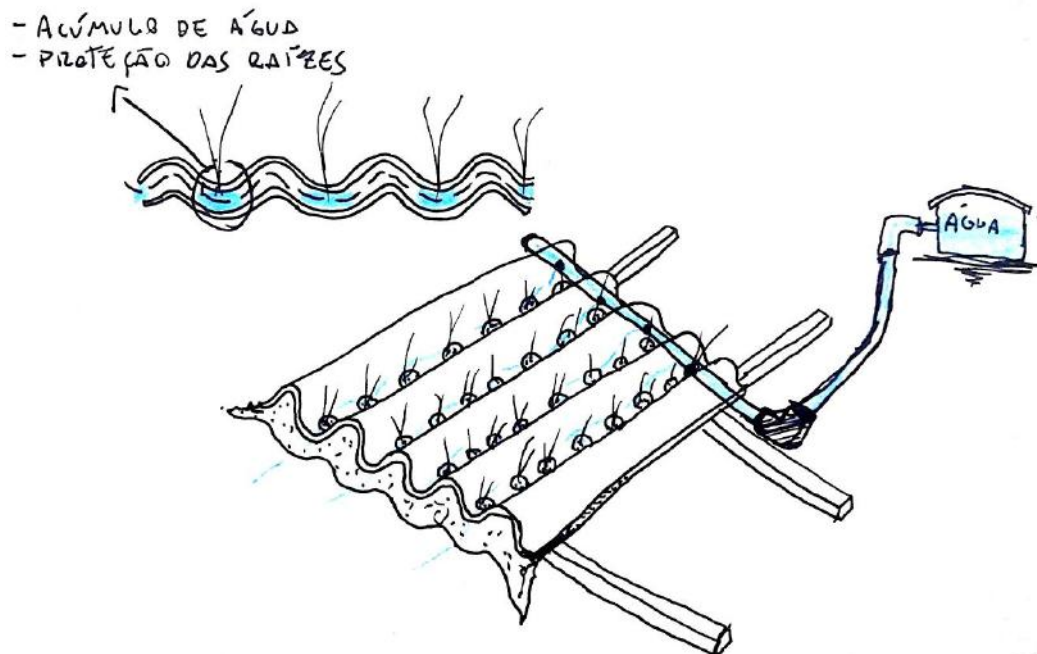


Figura 83: Perfil da telha integrada mostrando o acúmulo de água nos vales do módulo. Uma das formas de hidratação das plantas poderia se dar por meio de um sistema de gotejamento com tubos de PVC conectados diretamente à caixa d'água do estabelecimento. Elaboração própria.



Figura 84: Modelo simulando o sanduíche de telhas poliméricas com substrato geotêxtil Bidim. Elaboração própria.

O modelo representado pela Figura 84 apresenta a primeira camada superior perfurada nas montanhas da telha para a colocação das plantas e os vales sem furos para melhor escoamento de água. Porém, em visita à casa de Luís Cassiano, fora notado que as plantas tendem a enraizar e se desenvolver melhor nos vales devido ao maior acúmulo de água nessa região da telha, e conseqüentemente onde há montanha, as raízes e plantas ressecam com maior facilidade em períodos de seca e altas temperaturas (Figura 85). Isso me levou a concluir que os rasgos do módulo a ser desenhado devem estar em região plana ou de vale.

Montanhas da telha de fibrocimento com pouca vegetação.



Figura 85: Falhas no recobrimento vegetal no telhado de Luís Cassiano utilizando a técnica de Bruno Rezende. Elaboração própria.

Os modelos anteriores foram baseados nas ondulações de telhas existentes como a telha de fibrocimento da empresa Eternit® para agregar o detalhe dos rasgos nos vales ou em superfícies planas a um design próprio de telha, um último modelo foi feito de maneira simples apenas para concatenar as ideias até aqui concebidas. Nessa versão, imaginou-se que seria um produto polimérico extrudado com o perfil exposto na imagem abaixo, e posteriormente deveria ser usinado para criar rasgos no sentido longitudinal da peça, para que as plantas pudessem se acomodar nas regiões de vale. É importante ressaltar que esse modelo não foi melhor elaborado devido a alteração no desenvolvimento das alternativas ao decorrer das orientações e pesquisa do presente projeto.

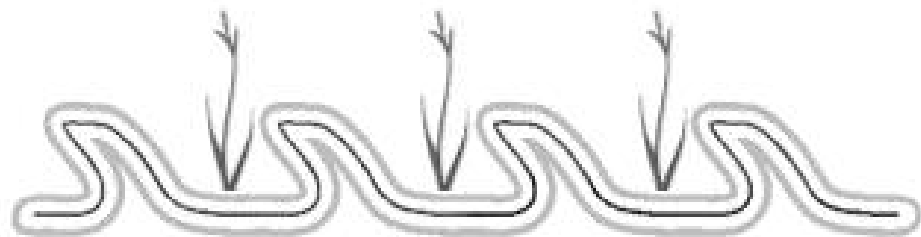


Figura 86: Modelo 3D com vistas em perspectiva e do perfil da peça. Elaboração própria.

A fim de iniciar os testes com os substratos anteriormente mencionados e visualizar melhor como os elementos vistos até agora se comportam na realidade, três modelos foram feitos a partir de uma telha de PVC de 2mm de espessura buscando representar os desenhos elaborados a partir da ALTERNATIVA 02 – TELHA SANDUÍCHE COM VEGETAÇÃO INTEGRADA. Cada modelo teve um rasgo e uma distância entre as camadas superior e inferior diferentes, além das combinações entre plantas e substratos.

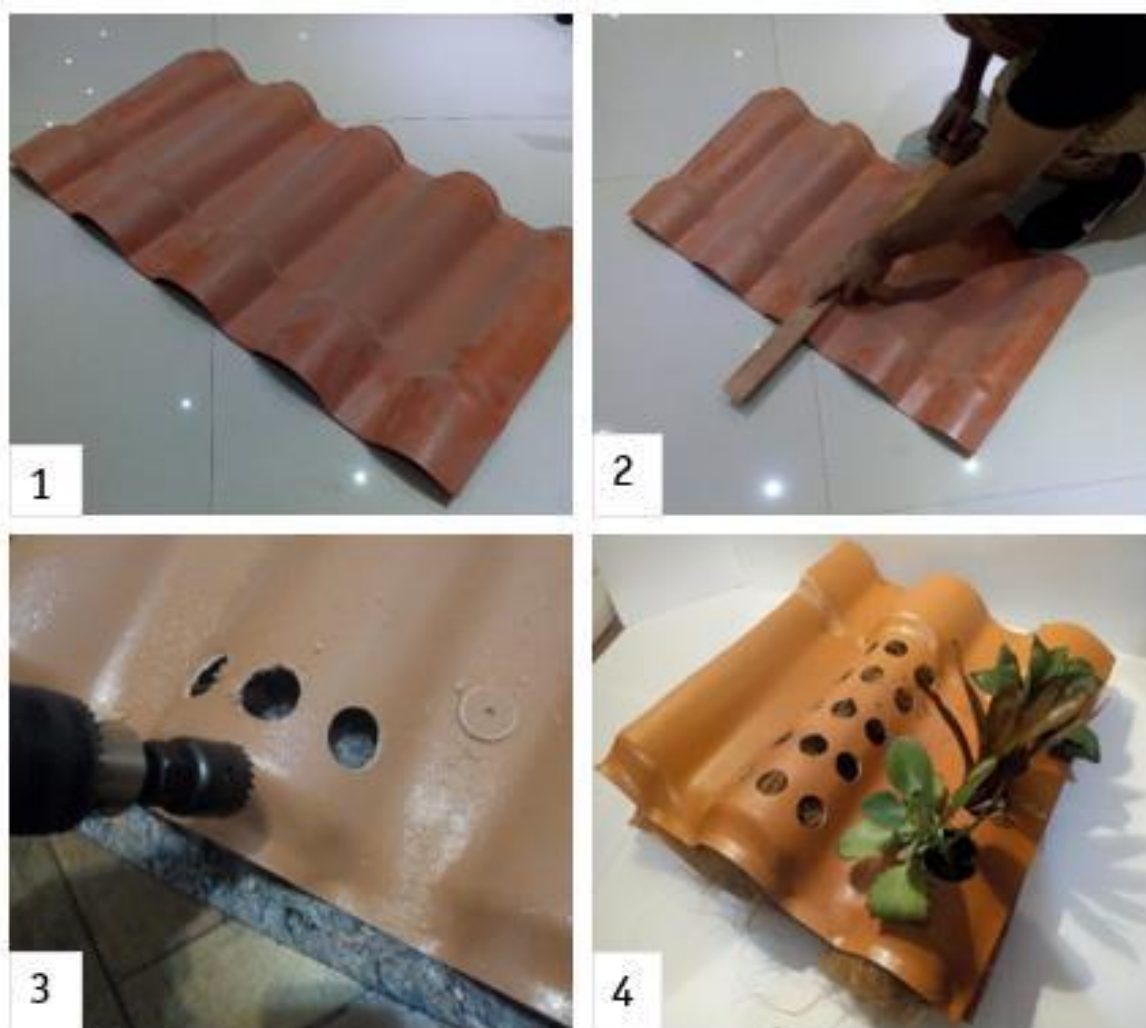


Figura 87: Sequência de ações para confecção de um modelo de telha sanduíche perfurada nas montanhas com vegetação em contato com o substrato Feltro com resina. Elaboração própria.

Seguindo o mesmo processo descrito na imagem anterior, os três modelos foram usinados e montados, sendo que o primeiro deles (MODELO 1), foi inicialmente feito com o desencontro entre os vales e montanhas da telha para que se obtivesse um bolsão de ar entre uma camada e outra, buscando o acúmulo de oxigênio, água e espaço para o desenvolvimento radicular das plantas. Além disso foram feitos furos na montanha visando o encaixe das mudas de plantas nesses espaços, o que se provou falho posteriormente. Devido ao maior espaçamento entre as camadas, foi preciso optar pela fibra de coco como substrato para que as raízes das plantas pudessem afundar no substrato e se fixarem.



Figura 88: Primeira versão do modelo 1, com furos nas montanhas e substrato de fibra de coco. Elaboração própria.



Figura 89: Variação do modelo 1, estudo realizado utilizando plantas de maior porte. Elaboração própria.

Nessa variação do modelo 1 (figura 89), foi possível observar que os furos circulares para o encaixe das raízes não dariam certo devido as diferenças entre os tamanhos das plantas e o crescimento dessas raízes que poderiam danificar a estrutura da telha.

O modelo 1 sofreu alterações logo de imediato, pois notou-se que com a diversidade de plantas e seus tamanhos de raízes variados e o crescimento destas ao decorrer do desenvolvimento da planta, não seria possível obter um diâmetro padrão para os furos nos quais cada espécie pudesse se encaixar e ficar estável na telha. Além disso, o substrato fibra de coco não foi capaz de segurar as raízes das plantas e reter umidade, sendo descartado da fase de testes. Avaliando o modelo com o desencontro entre as montanhas e vales das camadas, concluímos que para as plantas se equilibrarem, a disposição dessa deve ser feita sobre superfícies plantas, para isso, o modelo foi alterado, realizando o encontro entre montanhas e vales, onde as duas telhas iguais foram sobrepostas formando o “sanduíche”, além disso foram feitos rasgos no sentido longitudinal da peça e alteramos o substrato para o Bidim como pode ser observado na figura 90 a seguir.



Figura 90: Representação em desenho e imagem do modelo 1. Elaboração própria.

No modelo 1, a maioria das espécies plantadas não só sobreviveu, mas também cresceu e gerou ramos ou brotos, provando a eficácia do substrato Bidim na configuração de telha de PVC. Os rasgos retangulares feitos no sentido longitudinal da peça se situam em regiões de vale, porém são planas e estreitas, isso possibilitou a retenção de água de forma controlada, ou seja, não se criaram poças de água quando o modelo foi exposto à irrigação, mas também não houve secagem do substrato de forma rápida quando exposto ao sol. O contrário ocorreu nas regiões de montanha, onde a água que caía da irrigação evaporava rapidamente ou se deslocava para o vale por efeito da gravidade.



Figura 91: Plantas enraizadas no Bidim úmido no modelo 1.
Elaboração própria.

Além do modelo 1 feito com sanduíche de telhas e substrato geotêxtil Bidim RT32, outros dois modelos variando o substrato e plantas foram confeccionados para avaliar a relação substrato – planta – compartimento. No modelo 2, representado na figura abaixo, os rasgos foram feitos no sentido transversal da telha original, visando o acúmulo de água nos vales e o avanço das plantas para as montanhas, essas uma vez na região de topo, conseguiriam obter nutrientes e água por meio da capilaridade.

As plantas do modelo 2 utilizando o substrato Feltro com resina também sobreviveram, apesar de que o substrato ressecava rapidamente após a irrigação. Isso comprovou dois fatos, o primeiro de que as espécies plantadas ali são mais resistentes à seca e o segundo de que tanto o substrato escolhido quanto a configuração dos cortes na telha não favoreceram o acúmulo de água.



Figura 92: Representação do modelo 2 utilizando feltro com resina como substrato. Elaboração própria.

O terceiro modelo feito a partir das variações da ALTERNATIVA 02 – TELHA SANDUÍCHE COM VEGETAÇÃO INTEGRADA, possui os mesmos cortes retangulares no sentido longitudinal da telha, porém o substrato foi modificado, testando na mesma peça a sobreposição da manta de fibra de coco com látex natural (Coquim) com o musgo Esfagno. A combinação entre os dois substratos se deu porque o Coquim é uma manta uniforme e aglutinada, porém não absorve água, ao passo que o musgo Esfagno é desunido (solto, não uniforme) e absorve bem a umidade. Combinando os dois, têm-se um substrato totalmente orgânico que teoricamente ficaria fixo e prensado entre as telhas superior e inferior, e também que reteria bastante umidade pela presença do musgo.

Os pontos negativos desse experimento foram justamente a necessidade de fazer cortes no Coquim para encaixar as plantas, já que essas não enraizaram no mesmo e não puderam se equilibrar diretamente na manta. A própria necessidade de existir os dois substratos ao mesmo tempo já é um ponto negativo devido ao peso e custo agregado a fabricação de cada peça, sabendo que esse modelo representar apenas uma seção ou parte de um produto que teria maiores dimensões.

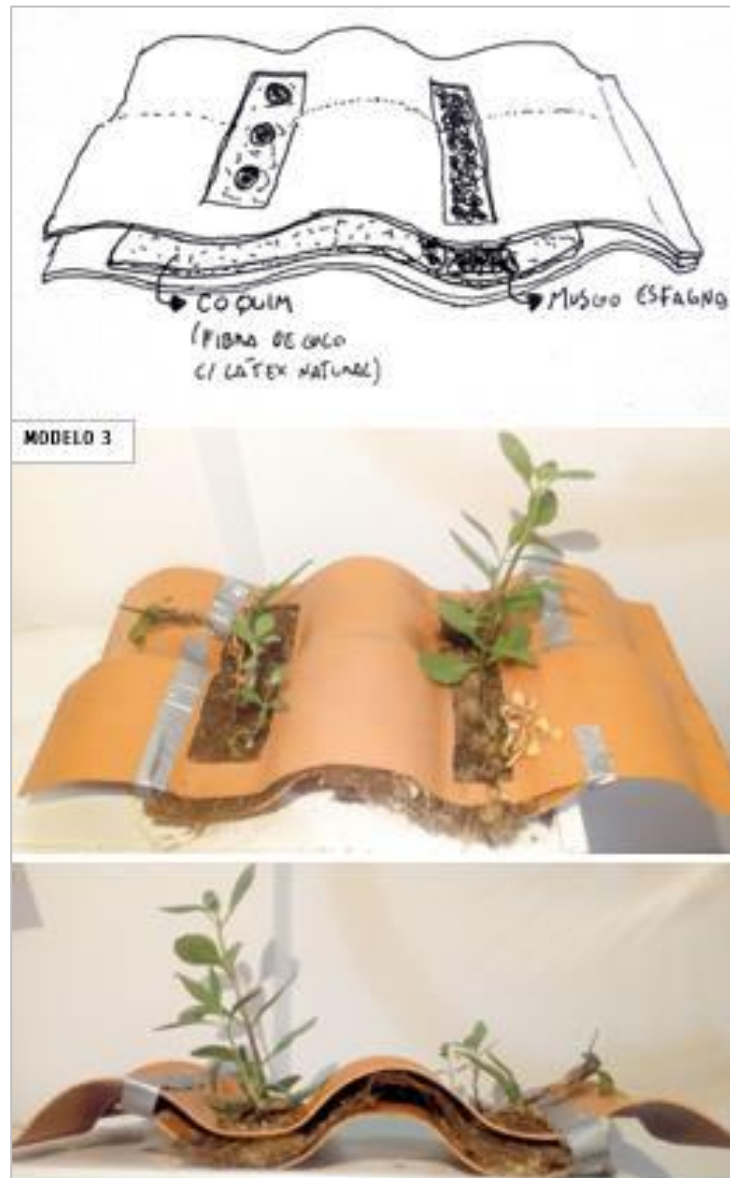


Figura 93: Representação do modelo 3. Elaboração própria.

Os três modelos elaborados a partir da ALTERNATIVA 02 foram usados para iniciar os testes dos substratos e plantas, a descrição dos testes se dará mais à frente, quando todos os modelos forem expostos e então se resumirá em uma tabela os modelos feitos a partir das alternativas, as plantas e os substratos, avaliando cada combinação com os devidos critérios futuramente. Contudo, a partir do que foi visto até agora, podemos obter algumas conclusões acerca das duas alternativas e os modelos gerados.

Apesar do aparente sucesso do modelo 1, algumas considerações foram feitas e estas nos levaram a próxima fase de desenvolvimento de alternativas, como exemplo:

- Uma desvantagem dessas alternativas é a limitação do público alvo à consumidores que estejam na fase de construção de seus estabelecimentos ou que tenham interesse em trocar todo o telhado existente por algo novo. Conseqüentemente essa lógica exclui a adaptação do produto para clientes que já possuam um telhado e queiram um telhado verde por cima desse.
- A dupla camada da telha sanduíche acaba gerando o dobro de material e custo de fabricação, conseqüentemente o custo total do produto também seria dobrado, porém, mesmo com as vantagens ao cobrir parte do substrato para que esse não desidrate rapidamente, foi possível concluir que a presença da uma camada acima do substrato é positiva, porém dispensável.
- Pensando que as telhas seriam pré vegetadas, transportadas e elevadas até o topo da construção a ser instalada, o tamanho e peso dos modelos pensados deveriam ser melhor calculados e reduzidos.

A primeira questão levantada nos pontos acima foi decisiva para começarmos a refletir se o produto poderia ser utilizado para ambos casos, como uma telha e como *retrofit* de telhados existentes, mas antes, pensamos em elaborar também alternativas que cogitassem somente na função de modernização ou complemento de um telhado existente, ou seja, o sistema funcionando apenas como *retrofit*.

3.2.2 Módulo para Retrofit de telhados existentes

A maior parte dos sistemas de telhado verde disponíveis no mercado funciona como *retrofit*, ou seja, o produto é instalado sobre um telhado ou cobertura que já possui telha ou laje. Como visto na análise de similares, a indústria de telhados verdes foca apenas na aplicação em lajes pavimentadas, ignorando as diversas outras configurações de telhado ou casos onde a cobertura ainda não foi construída. Para isso, é interessante projetar um sistema versátil para abranger maior número de estabelecimentos e expandir o mercado de telhados verdes nacional ou internacionalmente.

ALTERNATIVA 03 – MÓDULO FLEXÍVEL VEGETADO COM DOBRADURAS

Para que um sistema de telhado verde se adaptasse a diversas geometrias de telhas e tipografias de telhados, os primeiros desenhos que surgiram foram aqueles que simulavam um tecido maleável, porque inicialmente ficamos presos à ideia de que apenas um produto com as características de um tecido poderia se adaptar às diversas variações de telhas e coberturas. Para que o produto fosse maleável e pudesse ser modular, surgiram inspirações em origamis do tipo *Tesselation*. A geometria desses possibilitariam formas interessantes para o produto, pois muitos são maleáveis e contêm faces rígidas ao mesmo tempo.



Figura 94: Estudo de forma com origamis do tipo *Tesselation*: *Miura-Ori*, *Yoshimura* e *Herringbone*. Elaboração própria.

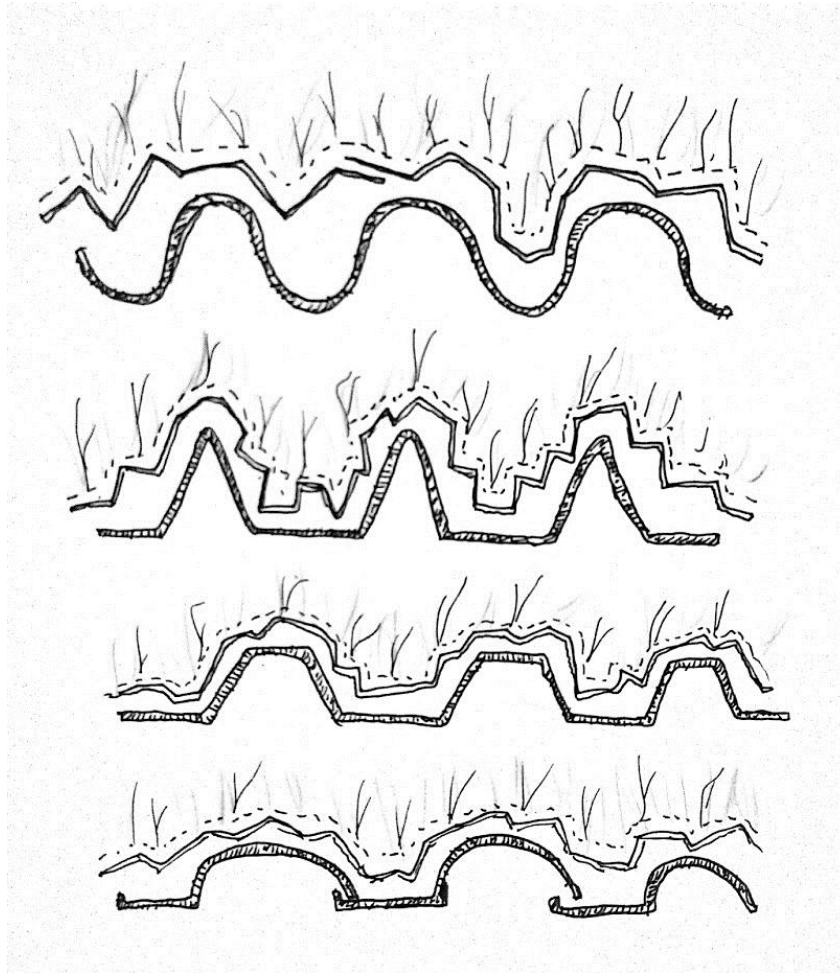


Figura 96: Adaptação de um módulo com dobraduras em diferentes geometrias de telhas. Elaboração própria.

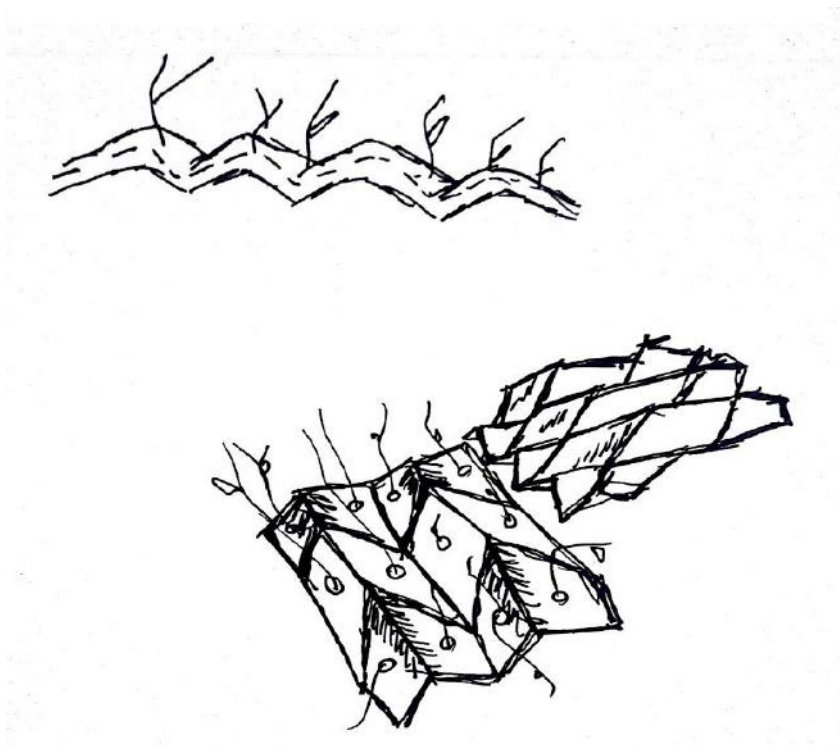


Figura 95: Estudo de forma com dobraduras. Elaboração própria.

O objetivo com o estudo das dobraduras era obter uma forma que se comportasse como um tecido maleável, porém que tivesse certa resistência para compor um módulo destinado a aplicação em telhados. Com esses modelos notamos que cada tipo de dobradura tendia a expandir, retrair ou fletir em alguma direção, isso impede que o módulo seja flexível em todas as direções e assente em quaisquer formas como se fosse um tecido, além de que se notou a dificuldade e complexidade para pensar em aspectos como irrigação e fixação das plantas. Com isso, estudamos os origamis de forma livre ou *freeform* origamis, dobraduras que não seguem necessariamente um padrão geométrico contínuo ou repetido e permitem a flexão do origami em diversos sentidos. Abaixo pode-se visualizar melhor um exemplo de *freeform* origami.

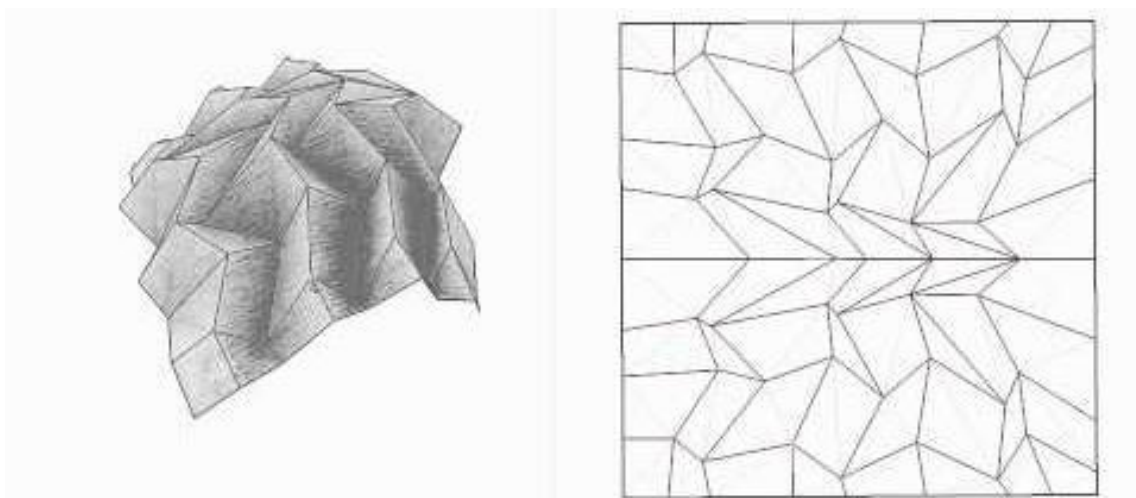


Figura 97: Exemplo de *freeform* origami por Tomohiro Tachi. Fonte: Tomohiro Tachi. https://www.youtube.com/watch?v=T35So_88mio. (Acessado em 23/11/2018).

A partir desses estudos direcionamos esse mecanismo para a aplicação em sistemas de telhado verde pensando em como as dobraduras poderiam compor um objeto flexível e modular de maneira prática. É possível visualizar nas próximas imagens um croqui de um objeto pensado para ser composto de três camadas, sendo as duas externas fabricadas a partir de uma placa com as dobraduras feita de polipropileno (PP), na qual as dobraduras seriam imprimidas na placa através do processo de termo moldagem ou sendo vincada em uma máquina de corte a *laser*. A camada interna seria o substrato para a vegetação que seria colocada sobre rasgos na camada superior do sistema. Esse "sanduíche" das camadas de polipropileno de forma irregular (dobraduras não se encontrariam) possibilitaria a formação de bolsões de ar e água que estimulariam o desenvolvimento das plantas.

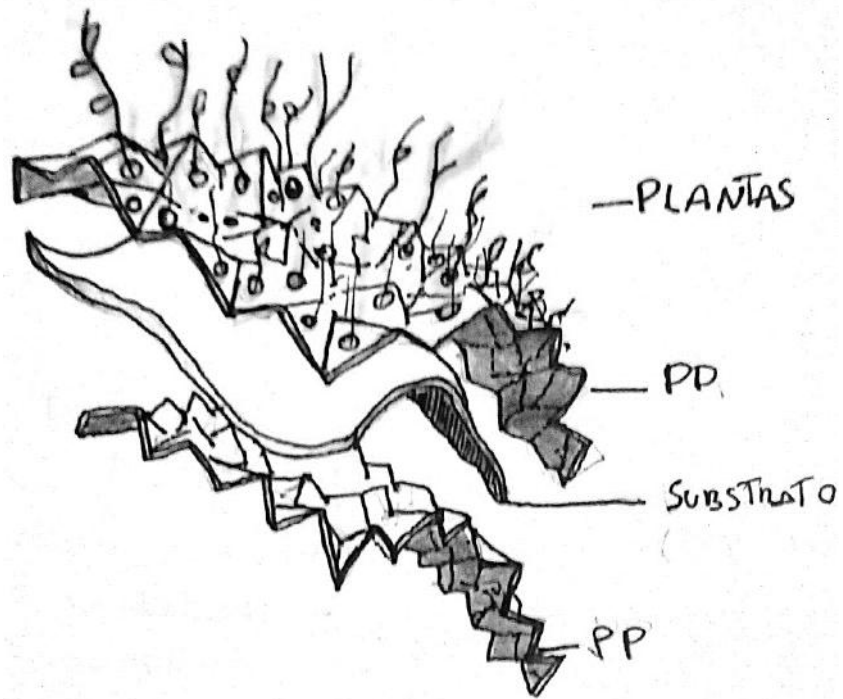


Figura 98: Sketch para a alternativa usando dobraduras em placas de polipropileno. Elaboração própria.

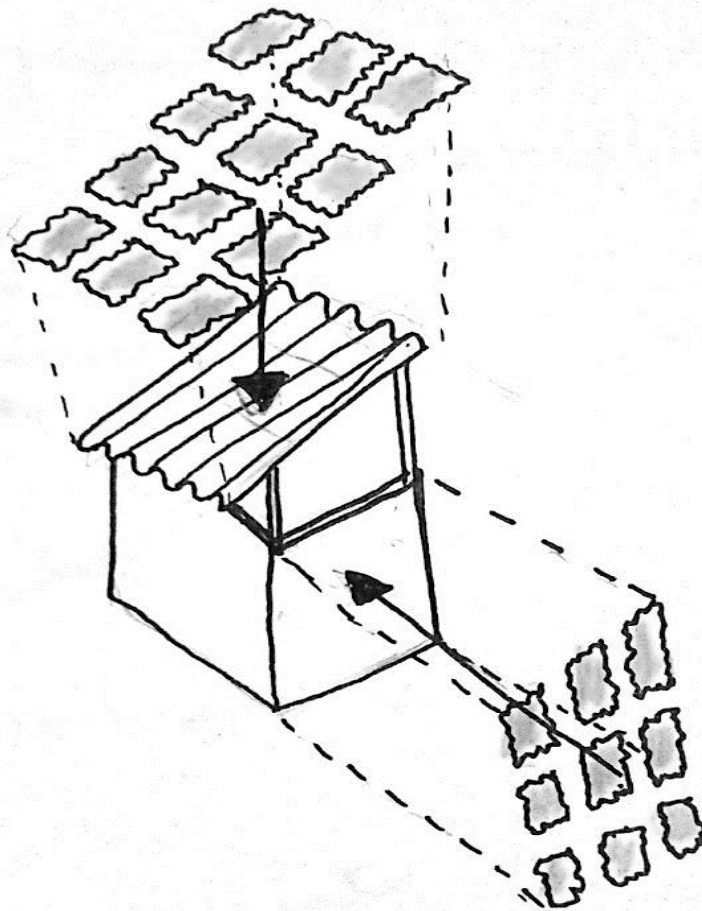


Figura 99: Esquema imaginando possível aplicação do módulo para muros e telhados. Elaboração própria.

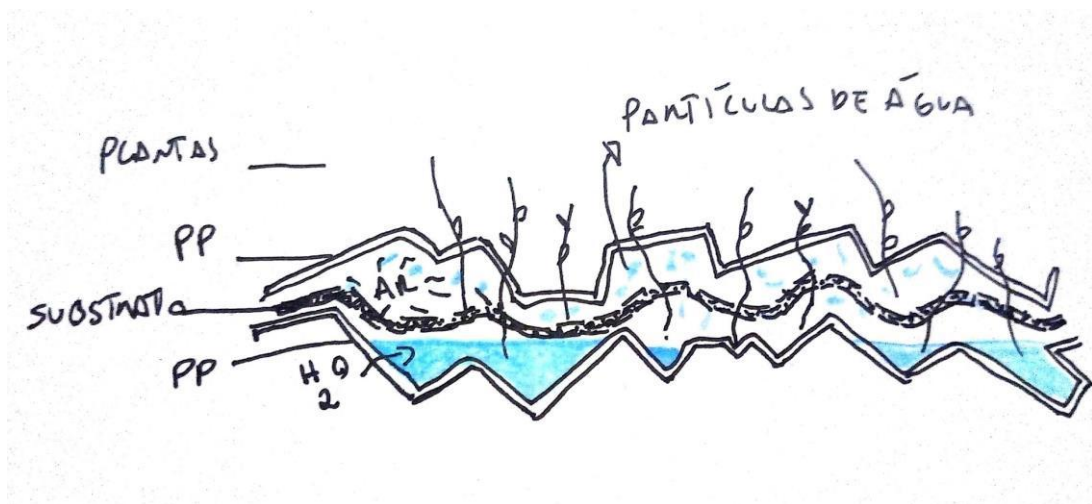
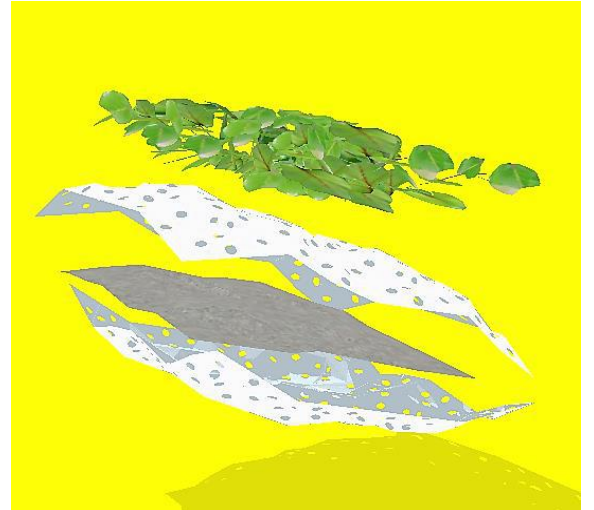
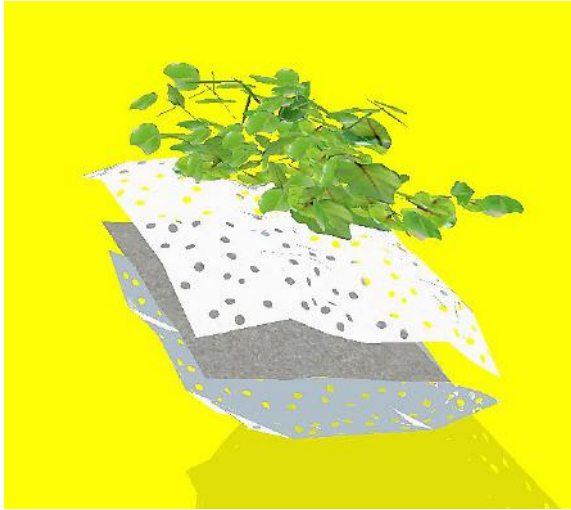
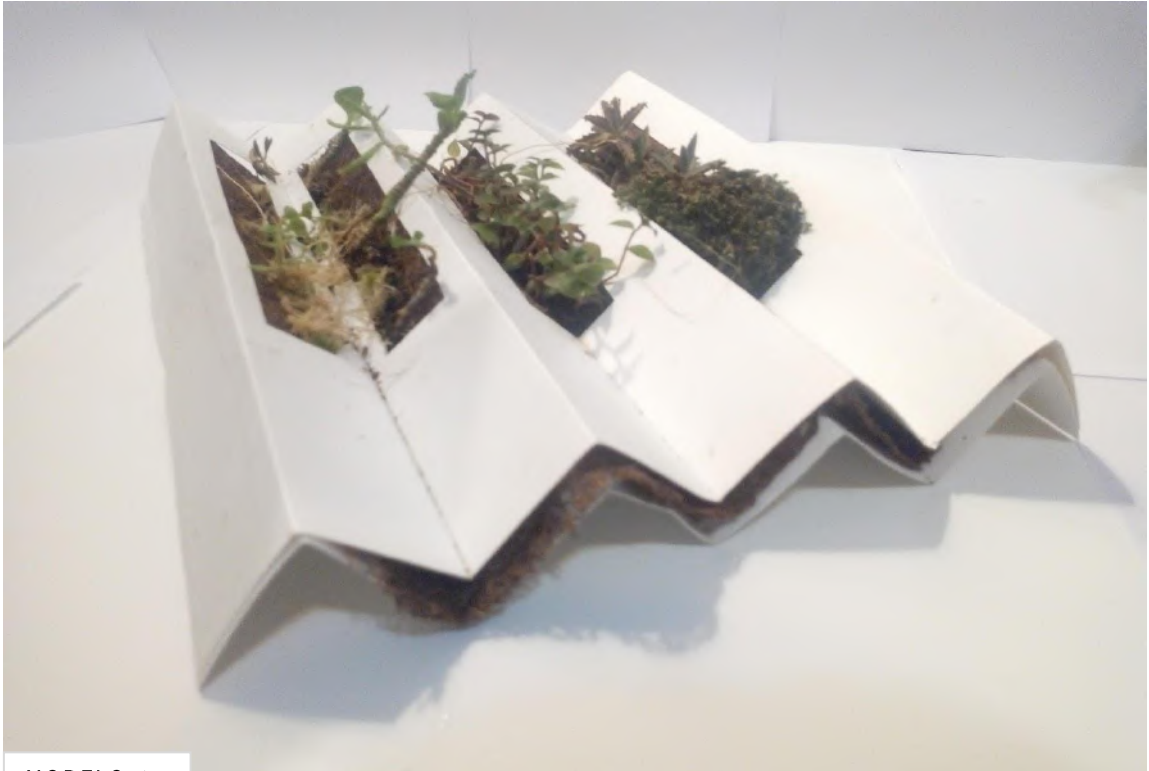


Figura 100: Vista explodida, corte e estudo da forma em papel. Elaboração própria.

Apesar de ser uma combinação interessante ou até lúdica e ousada esteticamente, percebemos que o desenvolvimento dos módulos utilizando dobraduras complexas seria dificultoso, logo partimos para a execução de modelos com dobraduras menos complexas para avaliar se essas ideias seriam viáveis ou não. Os modelos foram feitos com chapas de polipropileno de 0.6mm com rasgos na camada superior no sentido longitudinal da peça para que as plantas pudessem entrar em contato com o substrato Coquim.



MODELO 4



Figura 101: Vistas do modelo 4, utilizando duas chapas de polipropileno e substrato Coquim. Elaboração própria.

Outro estudo de forma foi feito baseado nos origamis e livros *Pop-up* para criar bolsos onde as plantas pudessem se acomodar e fixar suas raízes que entrariam em contato com o substrato, situado entre as duas folhas de polipropileno. Para esse estudo cogitamos a possibilidade de um mesmo módulo ser utilizado para coberturas e muros. Esse estudo foi desconsiderado por sua complexidade na fase de produção e pela questão dos tamanhos dos compartimentos que poderiam ser danificados ao decorrer do crescimento das raízes em seu interior.



Figura 102: Estudo de forma com dobraduras e rasgos *Pop-up*. Elaboração própria.

Diante dos estudos de forma e desenvolvimento das variações da ALTERNATIVA 03 – MÓDULO FLEXÍVEL VEGETADO COM DOBRADURAS, na qual foram testadas as composições usando chapas de polipropileno com dobraduras a fim de formar um sistema flexível que fosse sobreposto às diversas geometrias de telhas e telhados, observamos adversidades que impossibilitaram o desenvolvimento dessas como:


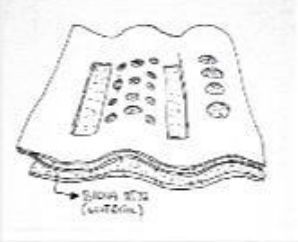

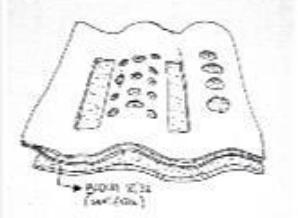

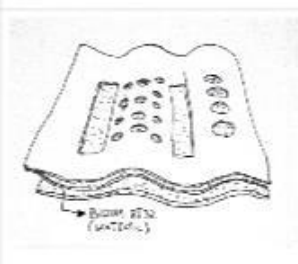

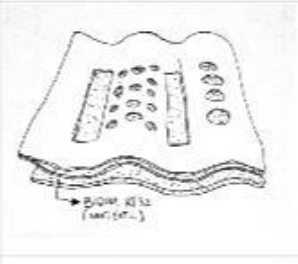

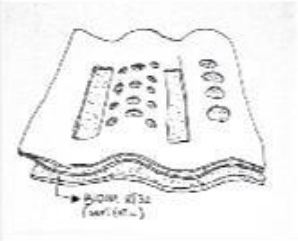

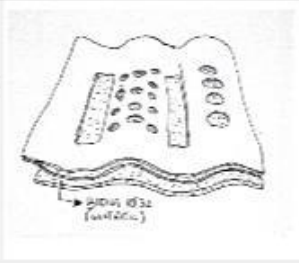
- Complexidade produtiva.
- Complexidade do sistema construtivo, encaixes e modularização.
- Pelo fato de ser maleável, dificultaria a logística e instalação do produto sobre os telhados.
- Assim como as alternativas anteriores, o produto também possui número de camadas excessivo, encarecendo o custo total por metro quadrado.
- Por ser maleável e não resistente ao impacto, não poderia ser utilizada apenas como uma telha.


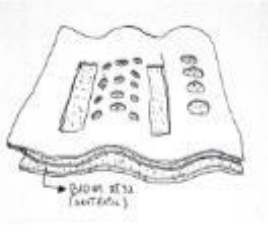

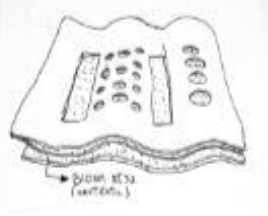

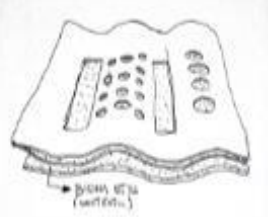

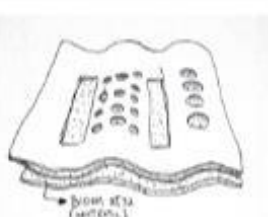

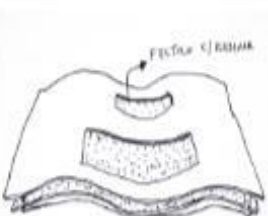

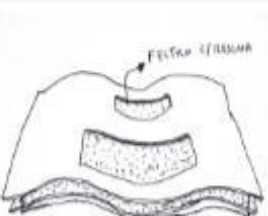


Ao longo da pesquisa, o desejo por desenvolver um módulo que pudesse ser uma telha e servir como retrofit se fortaleceu, com isso abandonamos o desenvolvimento de alternativas somente para *retrofit* e buscamos produtos no mercado que pudessem conter ambos atributos (telha e *retrofit*), dando origem à alternativa escolhida para melhor desenvolvimento que será apresentada após a representação em tabela dos resultados dos testes dos substratos realizados nos MODELOS 1, 2, 3 e 4, na qual averiguamos o desempenho de cada espécie plantada nos diferentes substratos e modelos.


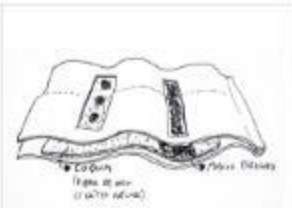

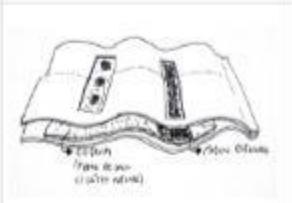

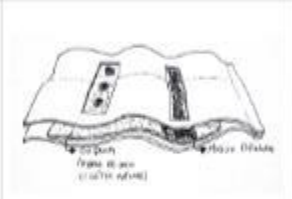

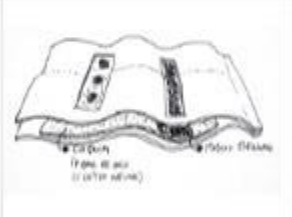

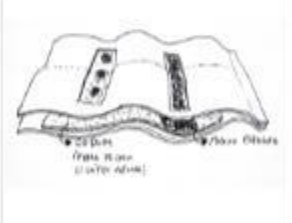




Os testes começaram dia 24/08/2018 e foram observados até o dia 24/11/2028, tendo exatos três meses de avaliação e os modelos ficaram dentro de um cômodo, próximos à janela para receberem a luz do sol. As espécies listadas anteriormente foram adquiridas em lugares diferentes e foram extraídas de seus vasos, assim como a terra que acomodava as mudas. Feito isso, as plantas foram posicionadas em cima do substrato de cada modelo e foram irrigadas com água não potável da torneira alternando os dias (dia sim, dia não) durante as primeiras semanas para se adaptarem e fincarem suas raízes. Após o primeiro mês a frequência da irrigação tentou simular a frequência das chuvas e foi diminuindo gradativamente, chegando a ficar duas semanas sem nenhum tipo de hidratação para testar a resistência das espécies a períodos de seca.

Para resumir e registrar o resultado da interação de cada espécie com cada substrato e modelo, foi feita uma tabela. Para facilitar a leitura e assimilação das espécies com os substratos e modelos, abaixo encontra-se a descrição resumida dos componentes de cada modelo.

- MODELO 1 Telha PVC com furos e rasgos longitudinais + Bidim RT 32 + Telha PVC
- MODELO 2: Telha PVC com rasgos transversais + Feltro com resina + Telha PVC
- MODELO 3: Telha PVC com rasgos retangulares longitudinais + Musgo esfagno e Coquim + Telha PVC
- MODELO 4: Chapa de PP com rasgos longitudinais + Coquim + Chapa de PP

ESPÉCIE	NOME CIENTÍFICO / NOME POPULAR / FAMÍLIA BOTÂNICA	MODELO	MODELO / SUBSTRATO	RESULTADO
	<i>Acalypha reptans</i> . Rabo-de-Gato. Euphorbiaceae		MODELO 1 / BIDIM RT32	NÃO SOBREVIVEU
	<i>Aloe vera</i> / <i>Aloe vera</i> (<i>Xanthorrhoeaceae</i>)		MODELO 1 / BIDIM RT32	APENAS SOBREVIVEU
	<i>Neoregelia rubrifolia</i> . <i>Neoregelia rubrifolia</i> . Bromeliaceae		MODELO 1 / BIDIM RT32	APENAS SOBREVIVEU
	<i>Peumus boldus</i> . Boldo- do-Chile. <i>Monimiaceae</i>		MODELO 1 / BIDIM RT32	NÃO SOBREVIVEU
	<i>Calisia fragans</i> . Planta de cesto. Commelinaceae		MODELO 1 / BIDIM RT32	SOBREVIVEU E ENRAIZOU
	<i>Calisia repens</i> . Dinheiro em penca. Comelinaceae		MODELO 1 / BIDIM RT32	SOBREVIVEU, ENRAIZOU E SE DESENVOLVEU

	<p><i>Sedum dendroideum.</i> Bálsamo. <i>Crassulaceae</i></p>		<p>MODELO 1 / BIDIM RT32</p>	<p>APENAS SOBREVIVEU</p>
	<p><i>Sedum makinoi ogon.</i> <i>Sedum Makinoi Ogon.</i> <i>Crassulaceae</i></p>		<p>MODELO 1 / BIDIM RT32</p>	<p>SOBREVIVEU, ENRAIZOU E SE DESENVOLVEU</p>
	<p><i>Kalanche delagoensis.</i> Mãe-de-milhares. <i>Crassulaceae</i></p>		<p>MODELO 1 / BIDIM RT32</p>	<p>SOBREVIVEU, ENRAIZOU E SE DESENVOLVEU</p>
	<p><i>Kalanchoe brasiliensis.</i> Saião. <i>Crassulaceae</i> *</p>		<p>MODELO 1 / BIDIM RT32</p>	<p>APENAS SOBREVIVEU</p>
	<p><i>Kalanchoe brasiliensis.</i> Saião. <i>Crassulaceae</i> *</p>		<p>MODELO 2 / FELTO COM RESINA</p>	<p>SOBREVIVEU, ENRAIZOU E SE DESENVOLVEU</p>
	<p><i>Calisia repens.</i> Dinheiro em penca. <i>Commelinaceae</i></p>		<p>MODELO 2 / FELTO COM RESINA</p>	<p>SOBREVIVEU, ENRAIZOU E SE DESENVOLVEU</p>
	<p><i>Kalanche delagoensis.</i> Mãe-de-milhares. <i>Crassulaceae</i></p>		<p>MODELO 2 / FELTO COM RESINA</p>	<p>SOBREVIVEU, ENRAIZOU E SE DESENVOLVEU</p>

	<p><i>Kalanchoe brasiliensis.</i> Saião. <i>Crassulaceae</i> *</p>		<p>MODELO 3 / COQUIM +MUSGO ESFAGNO</p>	<p>SOBREVIVEU, ENRAIZOU E SE DESENVOLVEU</p>
	<p><i>Kalanchoe daigremontiana.</i> Mãe-de-milhares. <i>Crassulaceae</i></p>		<p>MODELO 3 / COQUIM +MUSGO ESFAGNO</p>	<p>SOBREVIVEU, ENRAIZOU E SE DESENVOLVEU</p>
	<p><i>Aloe vera / Aloe vera</i> (<i>Xanthorrhoeaceae</i>)</p>		<p>MODELO 3 / COQUIM +MUSGO ESFAGNO</p>	<p>NÃO SOBREVIVEU</p>
	<p><i>Aechmea chantinii.</i> Bromélia zebra. <i>Bromeliaceae</i></p>		<p>MODELO 3 / COQUIM +MUSGO ESFAGNO</p>	<p>NÃO SOBREVIVEU</p>
	<p><i>Fittonia albivenis.</i> Fitônia. <i>Acanthaceae</i></p>		<p>MODELO 3 / COQUIM +MUSGO ESFAGNO</p>	<p>NÃO SOBREVIVEU</p>
	<p><i>Kalanchoe daigremontiana.</i> Mãe-de-milhares. <i>Crassulaceae</i></p>		<p>MODELO 4 / COQUIM</p>	<p>SOBREVIVEU, ENRAIZOU E SE DESENVOLVEU</p>
	<p><i>Calisia repens.</i> Dinheiro em penca. <i>Commelinaceae</i></p>		<p>MODELO 4 / COQUIM</p>	<p>SOBREVIVEU, ENRAIZOU E SE DESENVOLVEU</p>







	<p><i>Selaginella</i> spp. Musgo Cushion-Moss. <i>Selaginellaceae</i></p>		<p>MODELO 4 / COQUIM</p>	<p>NÃO SOBREVIVEU</p>
	<p><i>Sedum makinoi</i> ogon. <i>Sedum Makinoi</i> Ogon. <i>Crassulaceae</i></p>		<p>MODELO 4 / COQUIM</p>	<p>APENAS SOBREVIVEU</p>
	<p><i>Kalanchoe brasiliensis</i>. <i>Saião</i>. <i>Crassulaceae</i> *</p>		<p>MODELO 4 / COQUIM</p>	<p>APENAS SOBREVIVEU</p>



Figura 103: Crescimento das plantas no modelo 2 após três meses de teste.
Elaboração própria.



Figura 104: Evolução das plantas no modelo 1 e em teste apenas com uma tira de Feltro com resina, após três meses de teste. Elaboração própria.

Mesmo que os testes não tenham sido submetidos às condições reais de um sistema de telhado verde (instalados em um telhado sob efeitos do sol, chuvas e ventos), é possível agora ter um indicativo sobre o comportamento das espécies e substratos testados, ou seja, se sobreviveram ou não nas condições simuladas. Com essa confirmação, podemos sugerir com maior credibilidade o uso de tais plantas com tais substratos para a aplicação nos sistemas de telhado verde propostos nessa pesquisa, principalmente na alternativa a ser desenvolvida a seguir, pois essa foi a selecionada para ser melhor elaborada.

ALTERNATIVA 04 -PAINEL MODULAR COM VEGETAÇÃO INTEGRADA

Até o momento tinha-se em mente que para criar um sistema adaptável a diferentes tipos de telhas ou telhados apenas um material ou produto maleável como um tecido poderia cumprir essa função. Porém, analisando padrões de telhas no mercado e como se dão as instalações das mesmas, notamos que o padrão de montanhas e vales das telhas mais comuns no mercado nacional (Figura 108) poderiam servir como base para a projeção de um produto rígido e reto na sua parte inferior para que este se acomode nas superfícies das diversas telhas. Imaginamos que esse produto também poderia servir como uma telha a ser instalada diretamente sobre o engradamento do telhado.

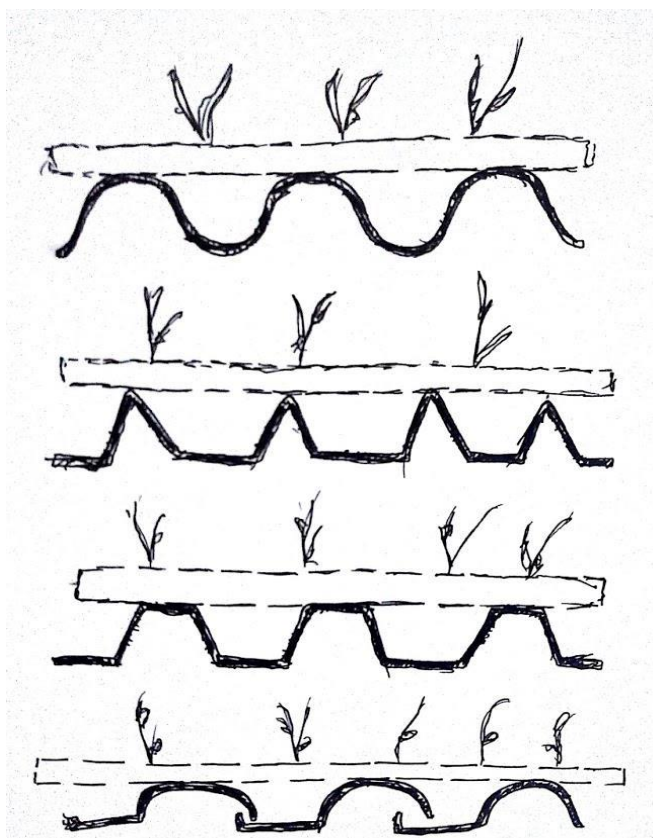


Figura 105: Aproveitamento das montanhas dos perfis mais comuns de telhas encontradas na pesquisa para o assentamento do módulo. Elaboração própria.

Essa ideia amadureceu após observarmos as configurações das telhas solares que agregam a tecnologias dos painéis solares a diversos tipos de telhas, logo, pensamos: Se existem placas fotovoltaicas que são instaladas em diversos tipos de coberturas e já estão desenvolvendo produtos com células solares embutidas nas telhas, por que não existem produtos usando a mesma lógica construtiva, porém substituindo as células solares por vegetação?

A partir dessa inspiração buscamos referências em diversos produtos, desde placas solares comuns e sua instalação em telhados diversos, até telhas cerâmicas que possuem células solares incorporados na sua forma. A seguir, encontra-se uma sequência de fotos de produtos que serviram como base para o desenvolvimento da alternativa.



Figura 106: Instalação de painel solar sobre telha trapezoidal. Fonte: <http://remorsolar.com/wp-content/themes/remor/pdf/en/Slopedroofs.pdf> (Acessado em 24/11/2018).



Figura 107: Placas fotovoltaicas instaladas sobre telhado de cerâmica. Fonte: <https://www.destakjornal.com.br/seu-valor/franquias/detalhe/blue-sol-energia-solar-franquia-busca-novos-franqueados-em-cidades-com-mais-de-600-mil-pessoas> (Acessada em 24/11/2018).



Figura 108: Instalação de telha solar sobre ripas de madeira. Fonte: <https://www.computerworld.com/article/3128255/sustainable-it/rooftop-solar-installation-prices-drop-as-does-payback-time.html> (Acessada em 24/11/2018).

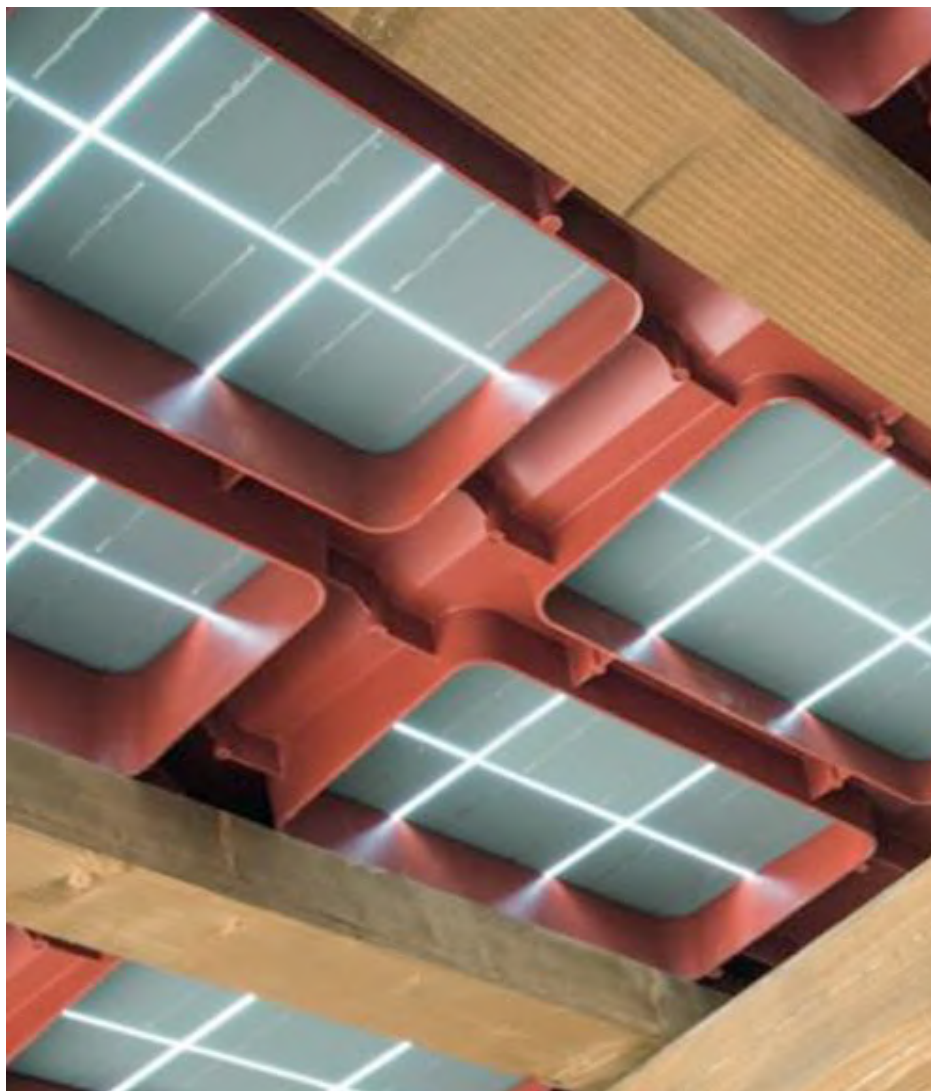
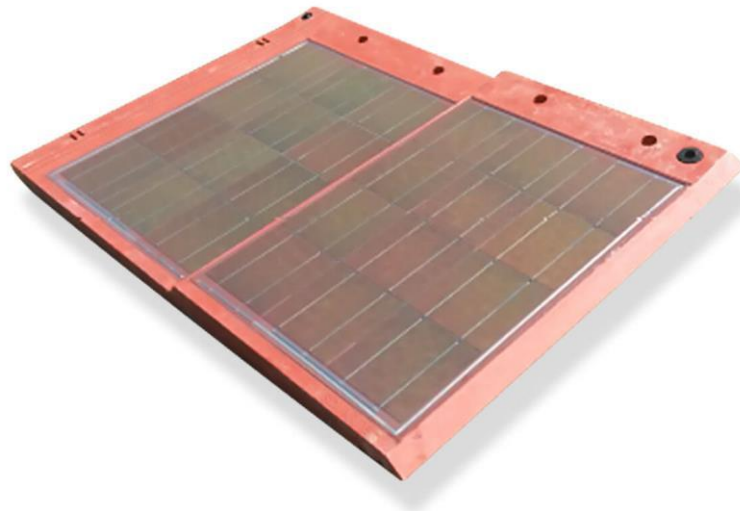


Figura 109: Telha com placa solar integrada da SOLARTEG®.

Fonte: <https://www.solarteg.it/en/solar-tiles/> (Acessado em 24/11/2018).

Com base nessas imagens, procuramos desenhar um compartimento que funcionasse simultaneamente como:

- Painel com plantas pré vegetadas a ser instalado sobre lajes pavimentadas ou telhas cerâmicas, plásticas, metálicas e fibrocimento.
- Telha com plantas pré vegetadas a ser instalada diretamente no engradamento da do telhado para obras em construção.

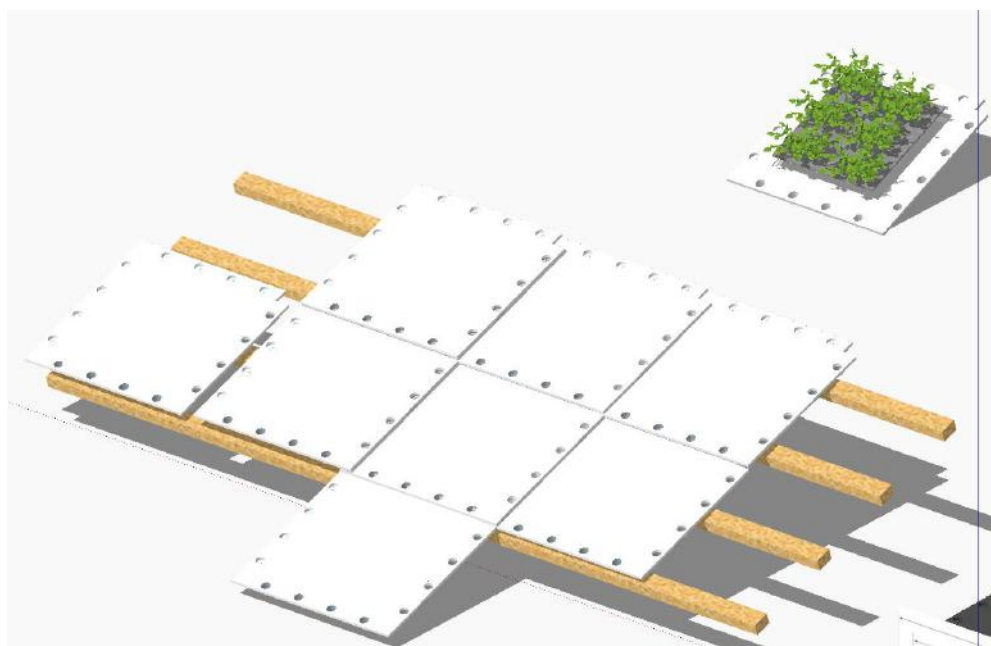
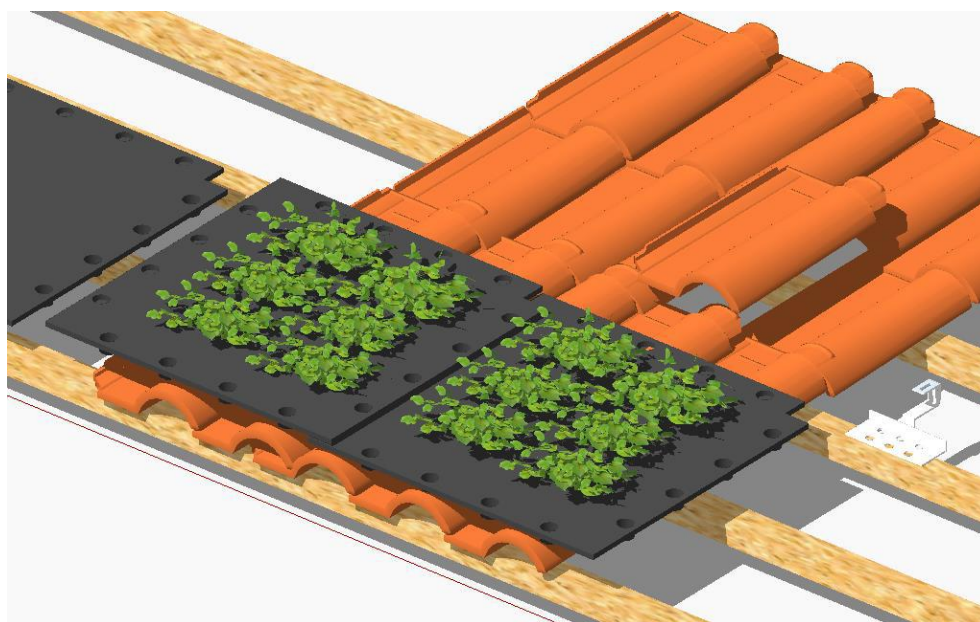


Figura 110: Primeiras sugestões de forma para a alternativa remetente às placas fotovoltaicas. Elaboração própria.

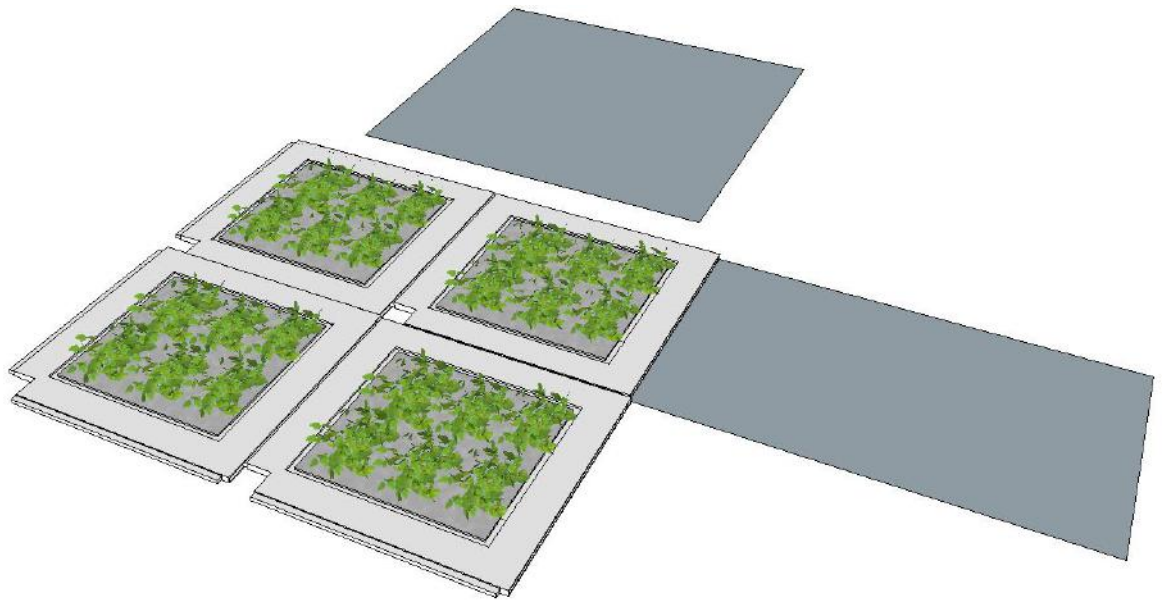


Figura 112: Modelos 3D visualizando encaixes macho e fêmea do tipo LEGO® entre módulos quadrados de 1m x 1m de tamanho. Elaboração própria.

A partir dessas primeiras representações, notamos a complexidade ao projetar um sistema que deve encaixar nos eixos vertical e horizontal e impedir a infiltração da água através dos pontos de contato entre um módulo e outro e que ao mesmo tempo seja compatível a diversos tipos de telhados. Com isso, buscamos observar como são os encaixes dos diversos tipos de telha no mercado brasileiro e averiguar seus mecanismos. Baseando-se nos encaixes das telhas cerâmicas, uma forma inicial foi esboçada apenas para estudar os possíveis encaixes entre os módulos. A transição de uma forma quadrada para uma forma retangular foi feita pela maior facilidade ao carregar e transportar que uma forma retangular tem sobre uma forma quadrada, pensando em um módulo de 1 metro de lado.

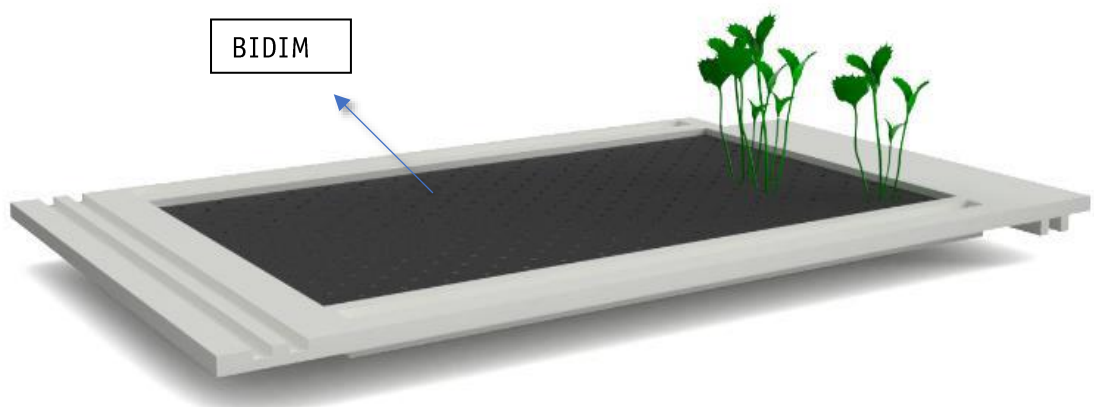


Figura 111: Transição da forma quadrada para uma forma retangular com encaixes baseados nas telhas cerâmicas. Elaboração própria.

Para que a elaboração da alternativa fosse melhor estruturada, reiteramos elementos e atributos que o produto a ser desenvolvido deve conter para que solucione os problemas levantados pelas análises de similares e das alternativas anteriores, visando a eficácia do sistema ao atender suas seguintes proposições:

ATRIBUTOS GERAIS ACERCA DO PRODUTO

- Promover redução da temperatura interna do estabelecimento
- Aumentar retenção de águas pluviais
- Permitir e incentivar a biodiversidade e restauração ambiental com o cultivo de espécies variadas
- Simplificar a fabricação, transporte e instalação do sistema, reduzindo o número de elementos constituintes ao produto
- Deve ser pré vegetado para se obter os benefícios do telhado verde de imediato ou permitir a possibilidade de ser instalado sem vegetação para que o(a) cliente possa acompanhar e gerir o prazeroso processo de desenvolvimento das plantas
- Deve ser de baixo custo de fabricação para ser economicamente viável para o público alvo
- Deve ser composto de materiais recicláveis e ter a capacidade de ser retornável, reparado e substituído
- Permitir a produção, transporte e comercialização de maneira semi industrial ou em larga escala
- Possibilitar a fabricação dos módulos ou pré cultivo da vegetação em locais inseridos no meio urbano, atrair a vegetação para a cidade e reduzindo emissões de gás carbônico com o transporte dos elementos agregados ao produto
- Deve ser adaptável e compatível a diferentes casos, referindo-se ao tipo de consumidor e ao tipo de construção que esse detém

ATRIBUTOS ESPECÍFICOS À FORMA

- Deve ser modular para permitir a troca e reparo do módulo de telhado verde ou daquilo que estiver sob o mesmo, seja uma telha, laje ou o engradamento do telhado
- A forma deve garantir, por meio de encaixes e geometria, a estanqueidade e impenetrabilidade de água e vegetação, respectivamente, isolando o sistema de telhado verde daquilo que estiver embaixo do mesmo
- A forma deve ser adaptável a diferentes tipos de telhas (cerâmicas, plásticas, fibrocimento, metálicas, fibra de vidro, entre outras) e às diversas geometrias de engradamento e topografias de telhados
- O módulo deve ser capaz de acomodar e fixar tanto o Bidim, quanto a vegetação sobre o mesmo
- A forma deve prever o peso da vegetação e substrato saturados e impedir a deformação do módulo
- O módulo deve ser capaz de acomodar e fixar tanto o Bidim, quanto a vegetação sobre o mesmo para que não haja deslizamento desses elementos, além de reter água para aproveitar água da chuva ou reduzir frequência de irrigação (caso seja necessário, pois varia com o tipo de plantas escolhidas pelo consumidor e as características meteorológicas da região)
- O módulo deve ser de baixo peso por unidade e com dimensões e geometria apropriadas para o manuseio, transporte e instalação nos telhados, para que possam ser elevados ao teto manualmente, dispensando o uso de guindastes para a instalação. O peso do painel/telha também deve ser reduzido para que não haja necessidade de realizar um reforço estrutural quando o telhado não for de laje pavimentada, abrangendo maior número de estabelecimentos.

Uma vez que sintetizamos os objetivos para o desenvolvimento da alternativa mais promissora, pudemos elaborar a forma para que atendessem aos atributos levantados. Como foi dito anteriormente, vimos que os encaixes que unem uma peça à outra e como essas se fixam sobre o telhado, seriam os pontos de maior complexidade e então resolvemos compilar as diferentes soluções já utilizadas nas telhas comuns e avaliar quais poderiam ser adaptadas ao módulo a ser desenvolvido.

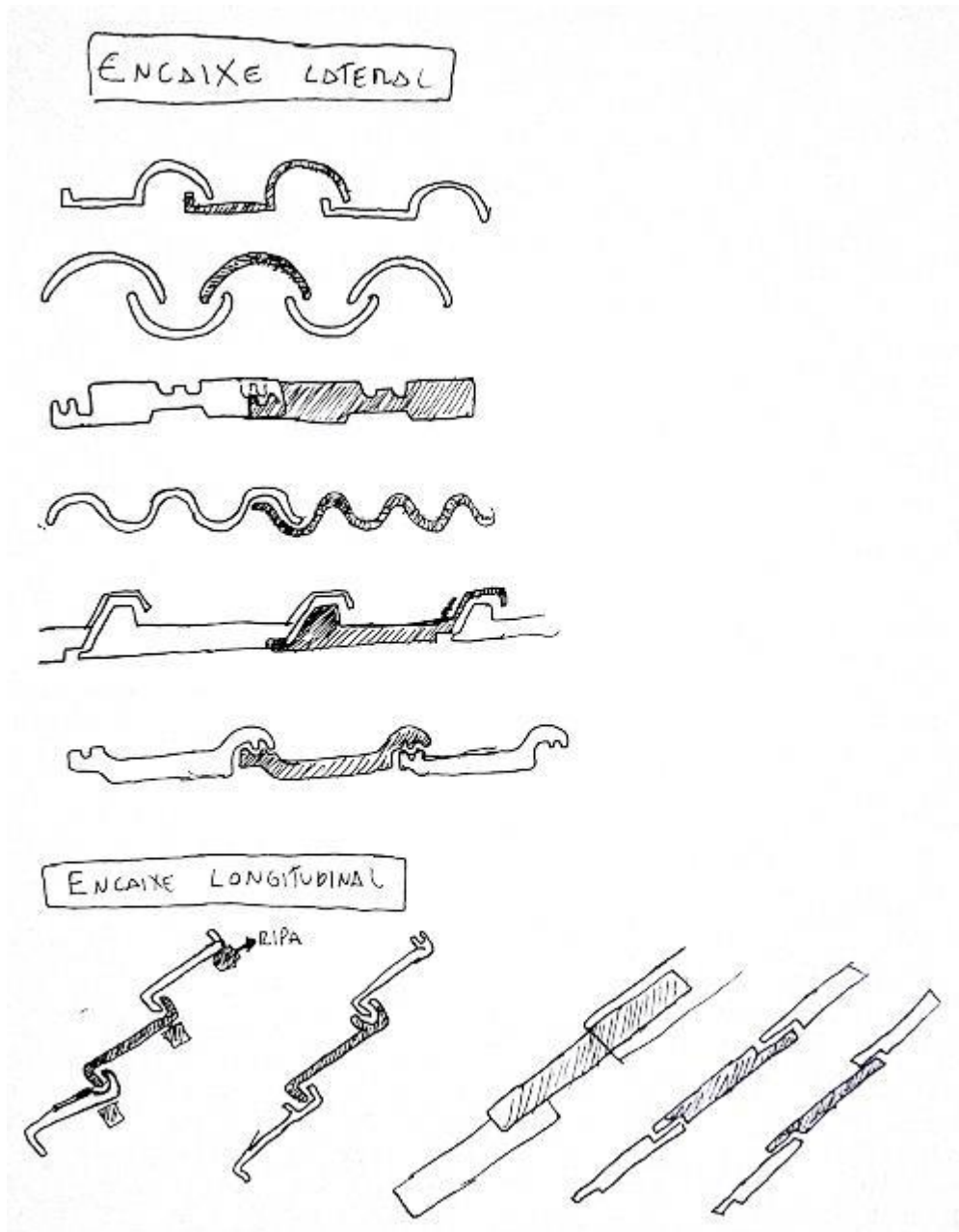


Figura 113: Encaixes laterais e longitudinais mais comuns entre os diversos tipos de telhas. Elaboração própria.

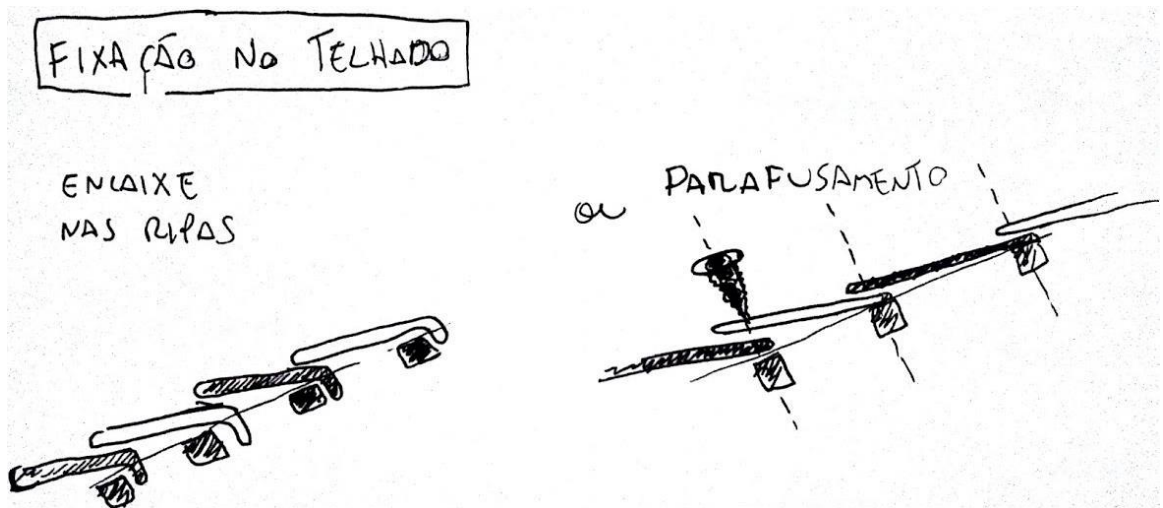


Figura 114: Representação dos tipos mais comuns de fixação das telhas no engradamento, podem ser apoiadas nas ripas com "pezinhos" ou aparafusadas com parafusos auto brocantes. Elaboração própria.

Visando a integridade do telhado, precisamos escolher e elaborar as formas mais seguras de encaixe e fixação dos módulos, a fim de prevenir infiltrações, avanço de raízes entre os módulos e queda ou deslizamento das peças. Com isso, um modelo foi feito a partir das soluções mais seguras de encaixe e fixação.

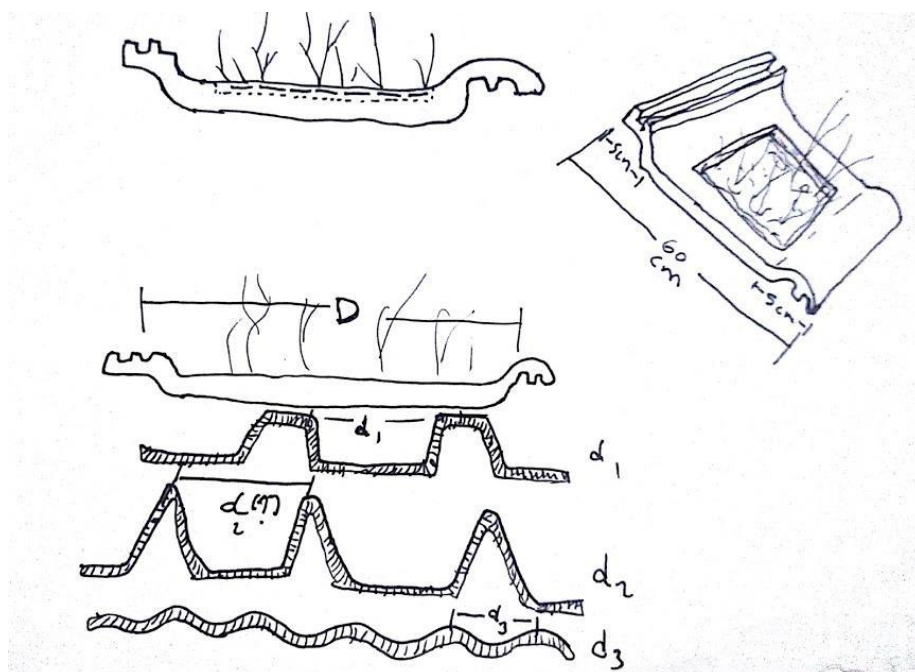


Figura 115: Croquis do modelo utilizando encaixe lateral com dupla sobreposição de protuberâncias que se encaixam. Elaboração própria.

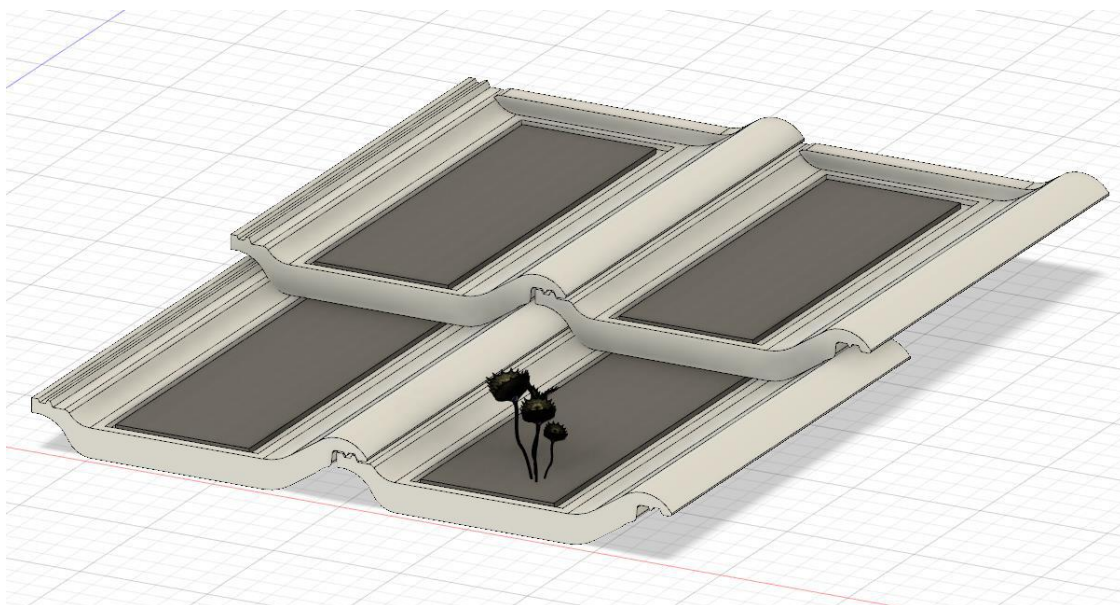


Figura 116: Modelo 3D dos croquis, visando o compartimento em forma de telha com o substrato Bidim e vegetação anexados à forma. Elaboração própria.

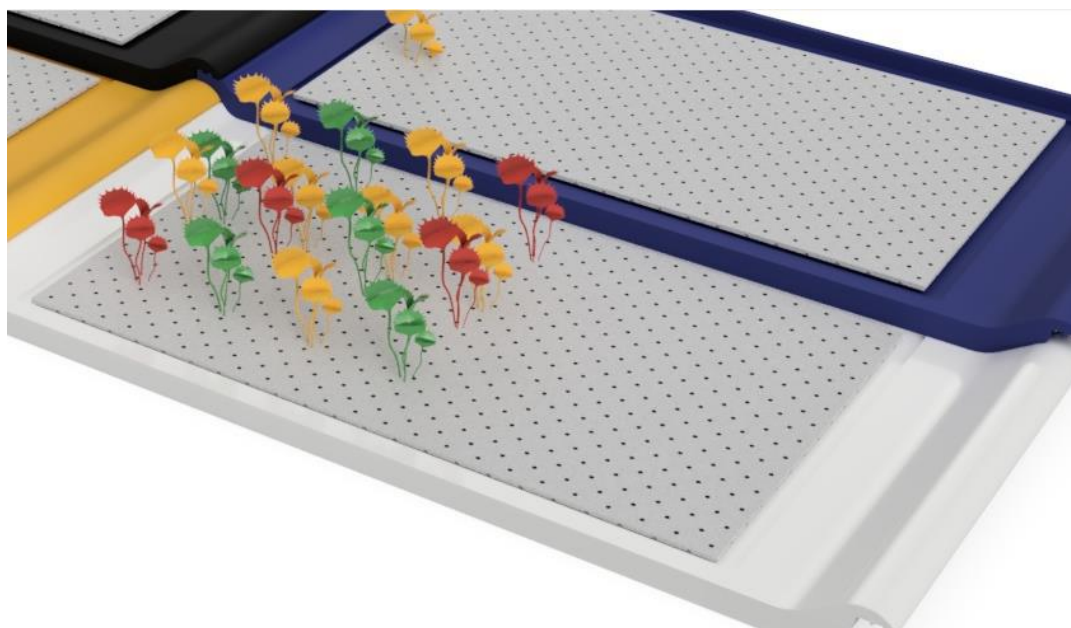


Figura 117: Alteração das dimensões do modelo para que haja maior área vegetada por módulo. Neste modelo cogitamos um módulo de 0.50m x 1m. Elaboração própria.

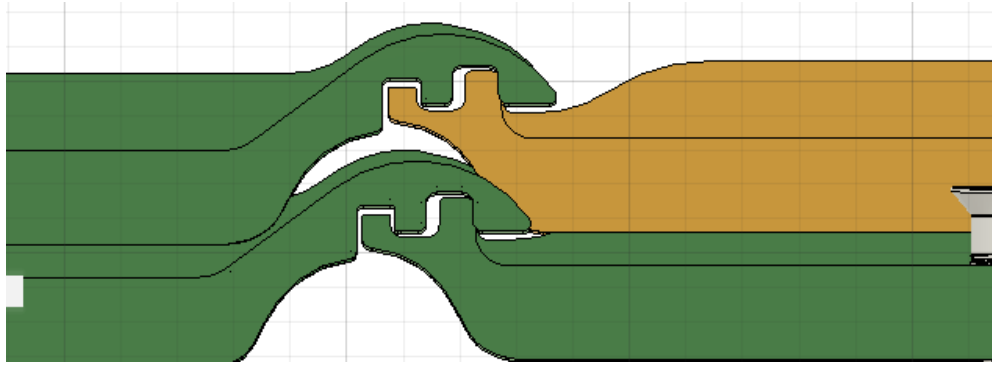


Figura 118: Encaixe lateral. Elaboração própria.

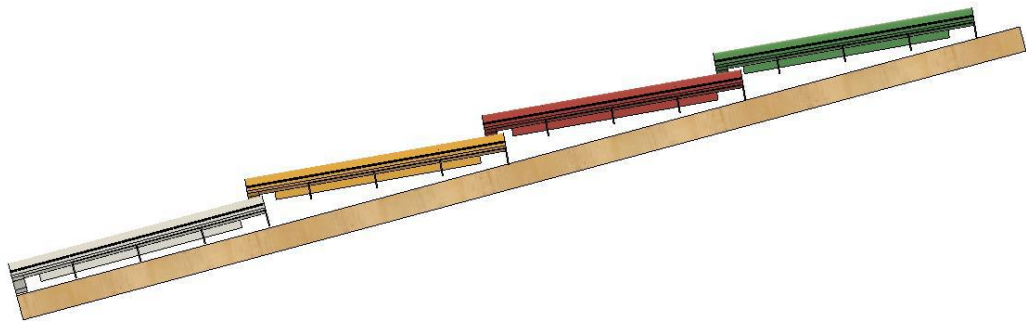


Figura 119: Encaixe longitudinal quando usado como uma telha a ser fixada diretamente sobre as ripas do telhado. Elaboração própria.

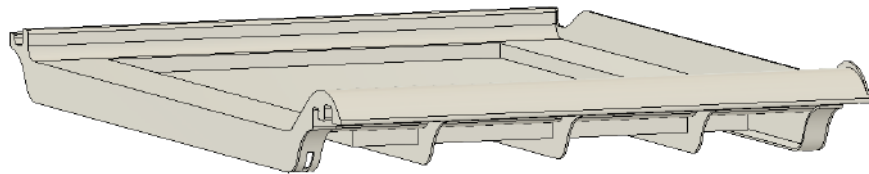


Figura 120: Vista em perspectiva da forma, onde pode-se observar a estrutura do compartimento para que esse não deforme com o peso da vegetação e substrato. O modelo foi desenhado para ser injetado com 2mm de espessura em polímero (PP; PVC;HDPE). Elaboração própria.

Com o desenvolvimento da forma até o momento, observamos que os encaixes longitudinais só seriam possíveis se o módulo fosse apoiado com um calço nas ripas, dificultando a fixação por parafusos, pois a sobreposição das telhas cria um espaço angulado entre o módulo e a ripa do telhado. Nesse caso, deveríamos direcionar nossa forma somente para a fixação com parafusos, pois essa é mais segura e prenderia melhor o módulo no telhado em casos onde o vento ou chuva fossem fortes o suficiente para carregarem as plantas e o Bidim, que então fariam a mesma força sobre o módulo, arrancando-o do engradamento.

A partir dessa forma, também observamos que sua fixação no telhado e encaixe não eram compatíveis e abriam espaço para que as plantas entrassem por baixo dos módulos e danificassem a estrutura, ou seja, foi preciso pensar em encaixes mais justos. Além disso, pela geometria complexa do compartimento, esse só poderia ser produzido a partir da injeção de plástico, o que encarece o produto caso esse não seja produzido em larga escala. Logo, durante a busca de referências de lógica construtiva em telhados, percebemos que as telhas de PVC (Poli cloreto de vinila), as mesmas utilizadas nos testes de substratos das alternativas projetuais anteriores, possuem o material, técnica de fabricação e as soluções de encaixes e instalação muito compatíveis com o que procurávamos para solucionar os problemas encontrados na forma desenvolvida até agora e ainda simplificam a geometria e instalação do objeto. As telhas de PVC possuem as seguintes características:

- São vendidas em unidades de 2.30m a 5.30m de comprimento por 0.86m de largura com espessura de 2 milímetros. Conferindo resistência ao impacto, leveza e praticidade. (Valores podem variar de acordo com o fabricante)
- Possuem aditivos antichamas
- São produzidas através da termo formação de placas extrudadas, dois processos relativamente simples e de baixo custo industrial
- São 100% recicláveis de acordo com os fabricantes
- Possuem melhor custo benefício quando comparadas a demais telhas



Figura 121: Telhas de PVC da Fibrarte®. Fonte: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-793386803-telha-pvc-459-x-088-melhor-preco-_JM (Acessado em 30/11/2018).



Figura 122: Montagem das telhas de PVC.

Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=XP1xpwLlm0k> (Acessado em 30/11/2018).

A partir do melhor estudo das telhas de PVC, os modelos desenhados até agora foram adaptados para a fabricação com termo formação em PVC, baseando-se nos mesmos raciocínios de encaixes e instalação das telhas de PVC, porém agregando o Bidim e a vegetação, a fim de gerar uma forma representada na figura abaixo, que combine ambas tecnologias. Esse modelo completa a etapa de geração de alternativas descrita nesse capítulo, no qual concluímos com a seleção da ALTERNATIVA 04 -PAINEL MODULAR COM VEGETAÇÃO INTEGRADA para melhor desenvolvimento e detalhamento no próximo capítulo.

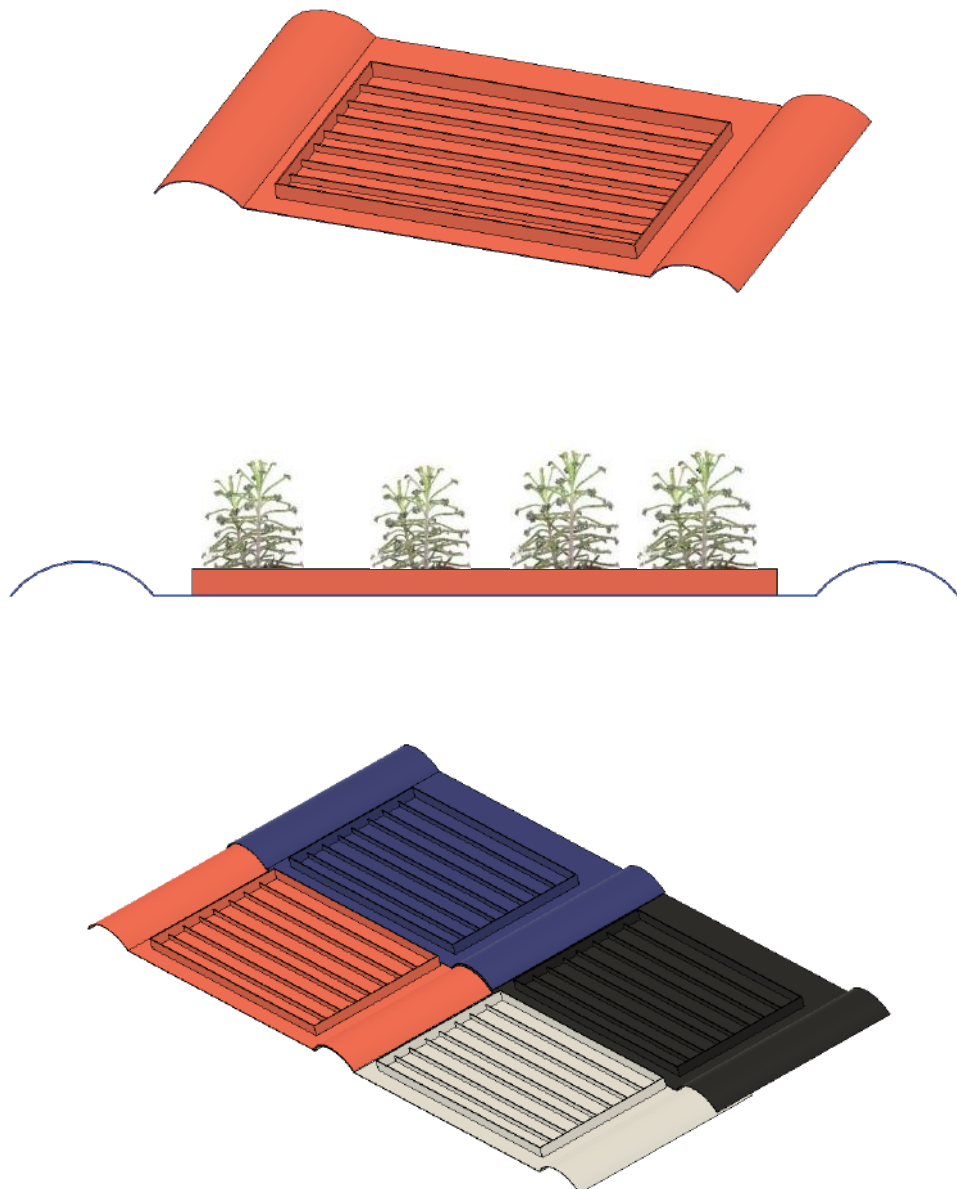


Figura 123: Vistas em perspectiva e frontal da alternativa selecionada. Elaboração própria.

Capítulo 4 - Definição do Produto Final

Capítulo 4. Definição do Produto Final

Neste capítulo justificaremos as escolhas feitas para definir a forma final que será desenvolvida a partir da alternativa selecionada no capítulo anterior. Também estará presente nessa fase final do projeto, o detalhamento e descrição técnica do produto, assim como sua simulação em telhados diversos.

4.1 Desenvolvimento e detalhamento da alternativa selecionada

Para desenvolver a solução apresentada, foi preciso resumir os aspectos formais que devem ser pensados e definidos, lembrando que desenvolveremos um módulo que será pré vegetado ou não (dependendo do interesse do cliente em acompanhar o processo de crescimento das plantas) e que será composto por três elementos principais, a vegetação, o substrato geotêxtil Bidim e o compartimento que acomodará esses dois últimos. Esse produto será pré vegetado em um estabelecimento e será transportado e elevado até o telhado no qual o sistema de telhado verde será instalado diretamente sobre o engradamento do telhado ou sobre a telha ou laje existente no local.

É importante lembrar que esse produto será submetido a intempéries como chuvas e ventos fortes e que deve garantir a impermeabilidade e isolamento das raízes das plantas em relação à estrutura que existir debaixo do sistema. Para o compartimento, elaboramos os seguintes aspectos:

DIMENSÃO

Para definirmos a dimensão do produto, tivemos que considerar os seguintes aspectos:

- Peso da vegetação e Bidim saturados para não deformar o painel de PVC 2mm
- Aspectos ergonômicos e facilidade ao manusear a peça considerando que essa será elevada por uma ou duas pessoas e manobrada em cima de um telhado

- Estruturação do produto termo formado para que ele não ceda às tensões provocadas pelo peso da vegetação, por caminhamento de pessoas ou por impacto de objetos como granizo, balões de ar etc.
- Transporte dos módulos e sua compactação em um VUC (Veículo Urbano de Carga)
- Quando usado como telha, é importante considerar a galga (distância entre ripas) onde o módulo será aparafusado
- Distâncias entre as montanhas das telhas que forem sobrepostas pelo módulo de telhado verde, pois esse precisa ter uma dimensão na horizontal que seja suficiente para que possa ser aparafusado nas montanhas das telhas. Essa distância entre montanhas das telhas não é padrão, logo, para que o módulo de telhado verde seja adaptável à essas diferentes dimensões, é necessário um dimensionamento mínimo, porém suficiente para abranger tais valores

Pensando em como o módulo seria carregado, observamos que uma peça de 1m x 0.5m, uma ou duas pessoas poderiam carregam com facilidade, pois essas apoiariam o módulo com os dois braços em uma distância confortável observada a partir de simulações caseiras representadas nas figuras 124 e 125:

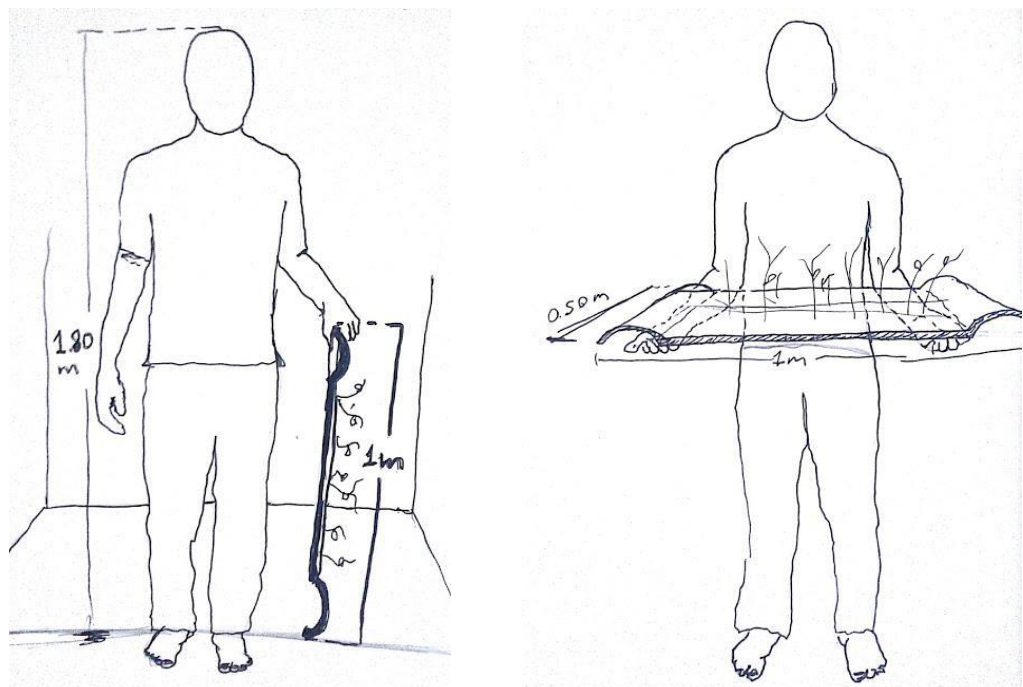


Figura 124: Estudos sobre o manuseio da peça de 1m x 0.50m sendo utilizada por uma pessoa de 1.80m. Elaboração própria.

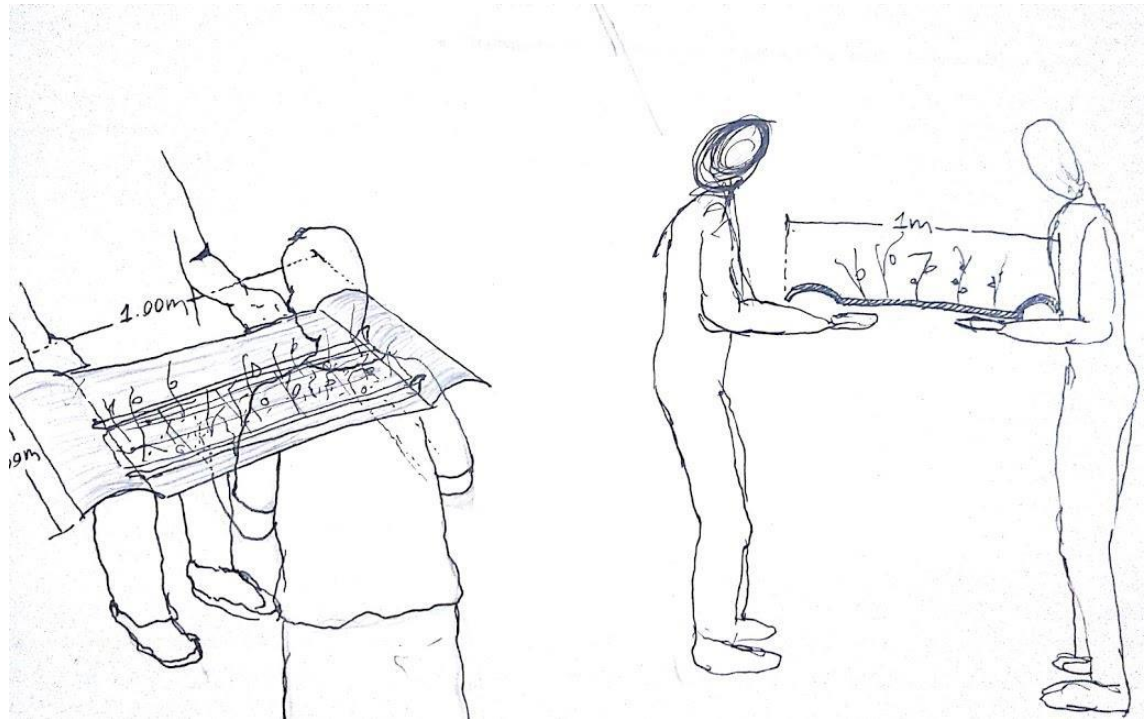


Figura 125: Maneiras diferentes que duas pessoas podem carregar o módulo de 1m x 0.50m caso fique muito pesado para uma pessoa só. Elaboração própria.

É claro que não podemos afirmar que a medida adotada é confortável e ergonômica de fato, pois não foi possível nessa pesquisa pesar um módulo totalmente vegetado e testar seu manuseio em situações reais em que esse se apresentaria. Entretanto, podemos estipular tal dimensão e aperfeiçoá-la futuramente, quando for possível analisar a atividade daqueles que manuseariam e instalariam o objeto em um telhado.

Em questão de logística, notamos que para esse tipo de produto e outros tipos de carga que circulam no meio urbano, os meios de transporte para esses são predominantemente caminhonetes e caminhões, principalmente os VUC (Veículo Urbano de Carga) que possuem dimensões compatíveis ao transporte do produto em grande quantidade por automóvel.



Figura 126: Dimensões dos VUC. Fonte: <http://rntrc-antt.com.br/noticias/9087> (Acessado em 30/11/2018).

De acordo com a pesquisa de telhas realizada no capítulo II deste documento, sabemos que são os fabricantes das telhas que determinam as dimensões do engradamento do estabelecimento a ser coberto pelas telhas, conseqüentemente, é o produto que define a galga (distância entre ripas) e isso permite maior liberdade de projeção, considerando a integridade de produto.

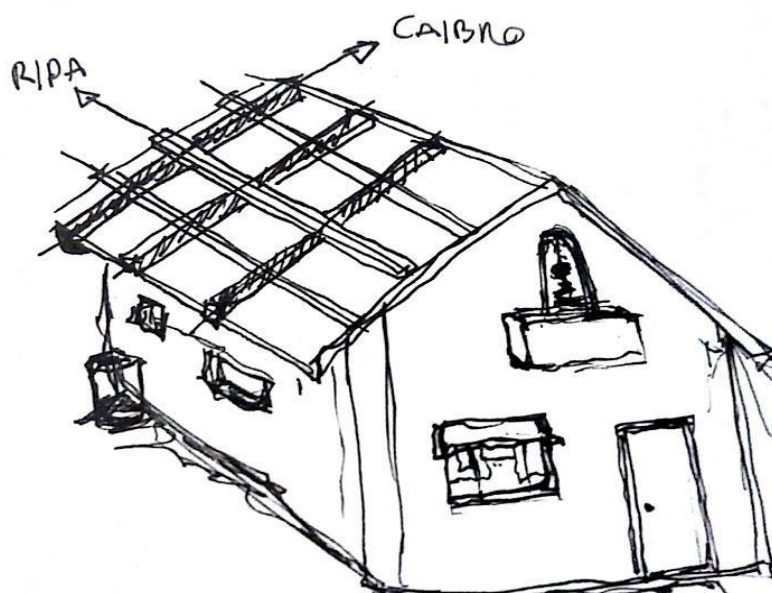


Figura 127: Diferença entre ripa e caibro nos engradamentos. As ripas são aquelas transversais à inclinação do telhado e os caibros são as hastes paralelas à inclinação. As ripas ficam sobre os caibros e as telhas são fixadas nelas. Elaboração própria.

Para as telhas cerâmicas, a galga varia entre 30cm e 40 cm, enquanto que para as telhas de maior porte, incluindo as de PVC, essa distância varia com o tamanho da telha. Considerando uma telha de PVC de 2.30m x 0.90m, a distância recomendada pelo fabricante Neotelha^{®35} é de 58.5cm (Distância entre apoios), esse valor é semelhante às outras fabricantes. Como nosso módulo é de 1m x 0.50m e terá um peso extra por conta da vegetação, pelos desenhos abaixo podemos ver a adaptação dessa dimensão à uma galga de 38cm (considerando a largura das ripas de 6cm, logo, $50\text{cm} - 2 \times 6\text{cm} = 38\text{cm}$ de galga).

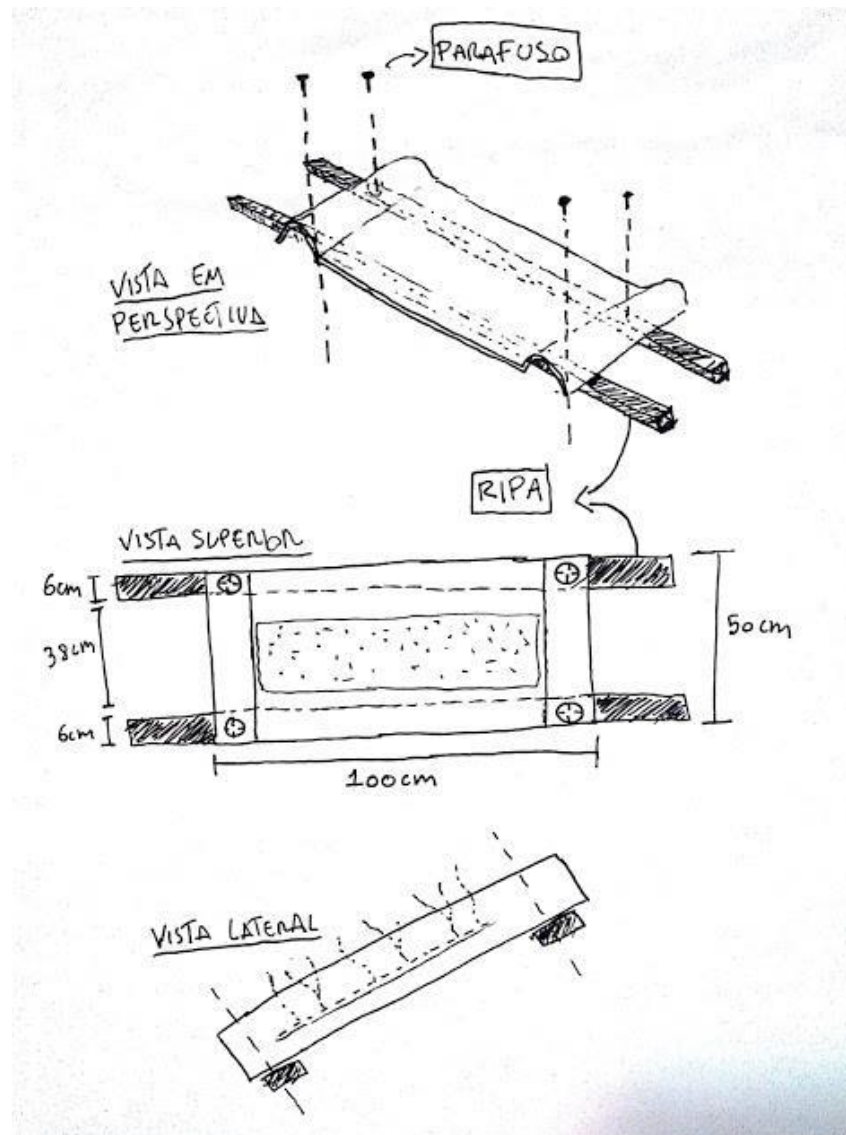


Figura 128: Demonstração da fixação do módulo por parafuso e a distância entre as ripas coincidindo com a dimensão da telha. Elaboração própria.

³⁵ Informação retirada do site da Neotelha[®]. > <http://neotelha.com.br/telha-colonial/> (Acessado em 30/11/2018).

Para a fixação do módulo sobre telhas já existentes, observamos que a distância entre as montanhas dessas pode chegar a 85cm em algumas telhas de grande porte de fibrocimento, porém na maioria das telhas essa medida não ultrapassa de 20cm, isso significa que um 1 metro de comprimento para o módulo é mais do que suficiente para que seja perfurado em pelo menos duas montanhas da telha que estiver por baixo do painel vegetado, podendo até aproveitar o parafuso que prende a telha ao engradamento para prender o painel vegetado também. A fixação do painel vegetado sobre as telhas cerâmicas foi um desafio para esse projeto, já que as telhas são de barro e não podem ser aparafusadas. Para tentar resolver essa questão, estudamos formas de colar os painéis nas telhas ou de prender os painéis vegetados utilizando os mesmos equipamentos usados pelos painéis solares. A instalação nas telhas cerâmicas será melhor discutida nos próximos tópicos deste capítulo.

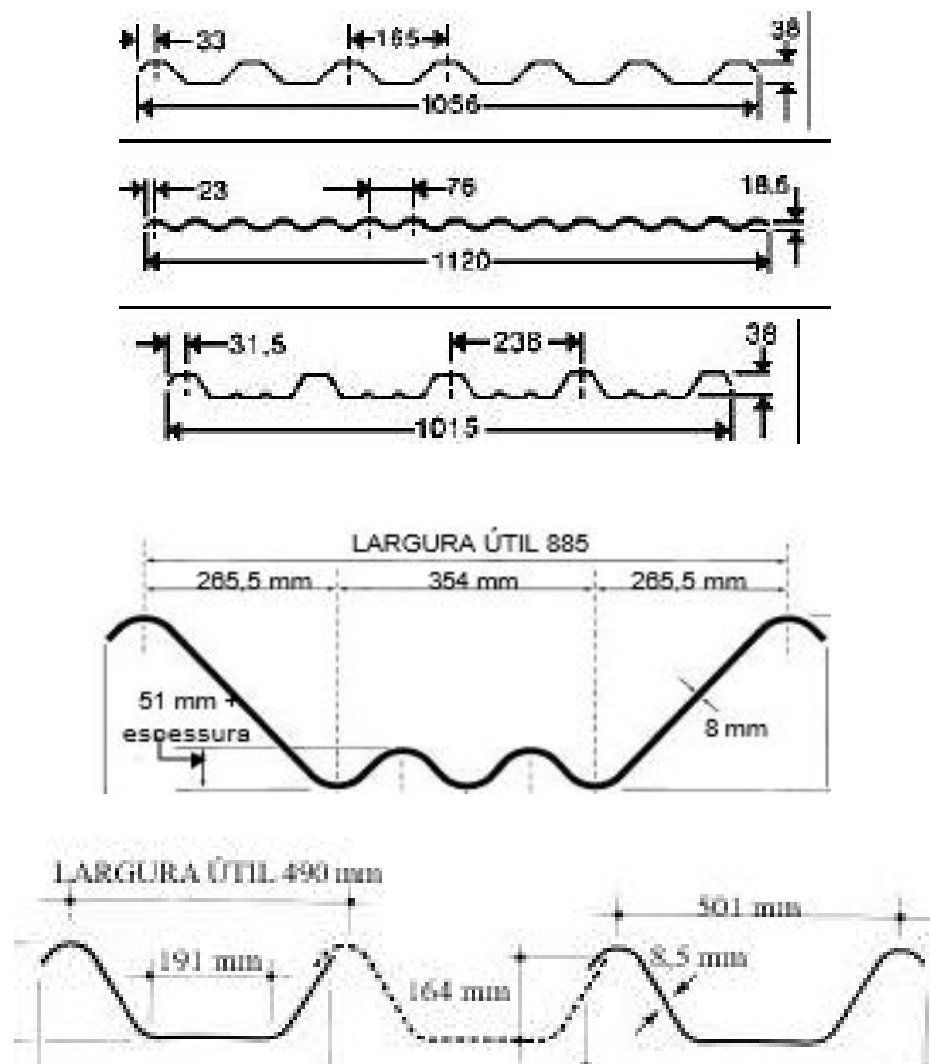


Figura 129: Distância entre as montanhas de telhas diversas.

Fonte: Documento da CEHOP: Companhia Estadual de Habitação e Obras Públicas.
> <http://187.17.2.135/orse/esp/ES00072.pdf> (Acessado em 30/11/2018).

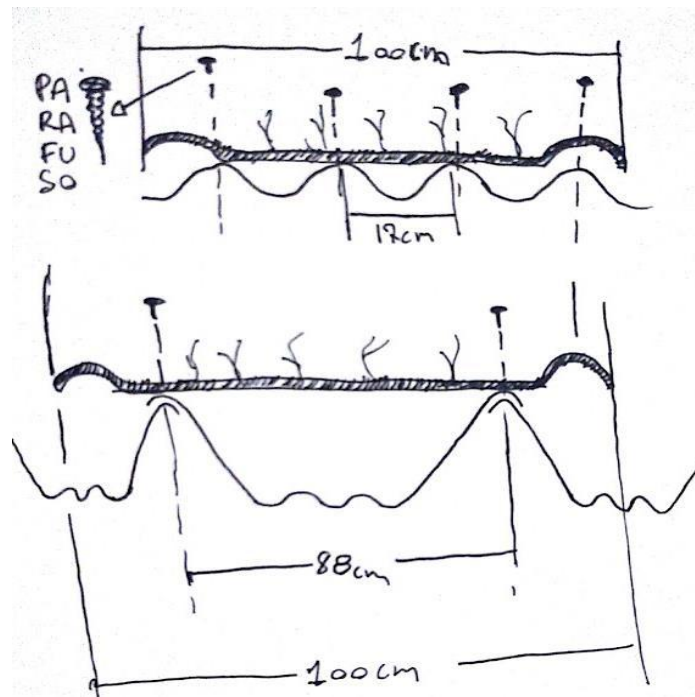


Figura 133: Adequação da forma para fixação em telhas com diferentes distâncias entre montanhas. Elaboração própria.

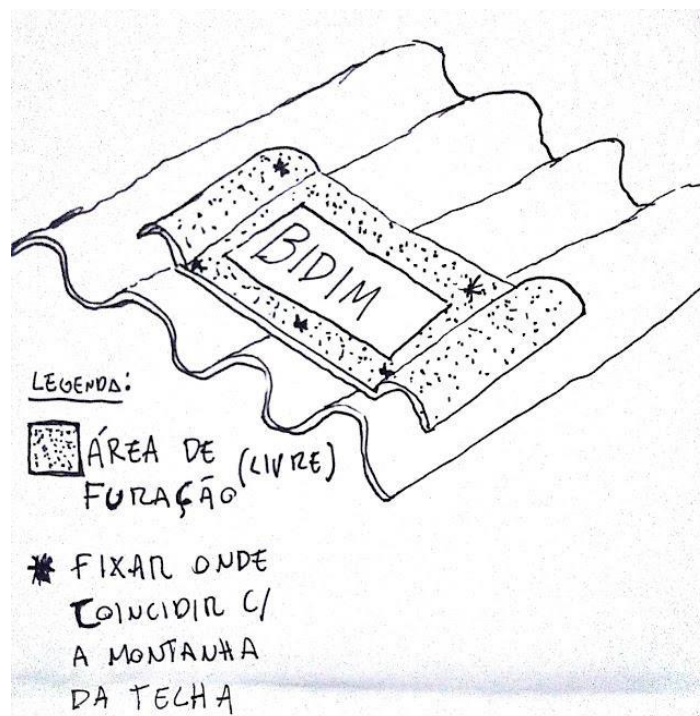


Figura 134: Representação da área de furação do painel que deve ser feita aonde o painel toca a montanha da telha. Elaboração própria.

É importante ressaltar que quando o módulo for utilizado apenas como telha, ou seja, fixado diretamente sobre o engradamento do telhado, a sua fixação por parafusos deve ser feita obrigatoriamente nas montanhas da peça para que a água da chuva ou irrigação escoe para a região de vale do módulo que se situa entre os topos da extremidade. Por outro lado, caso o painel seja instalado sobre um telhado existente, sua fixação pode ocorrer na região de vale ou montanha do painel, pois caso a água passe pelo furo (mesmo que vedado), ela encontrará a telha de baixo que realizará o papel de impermeabilização do telhado.

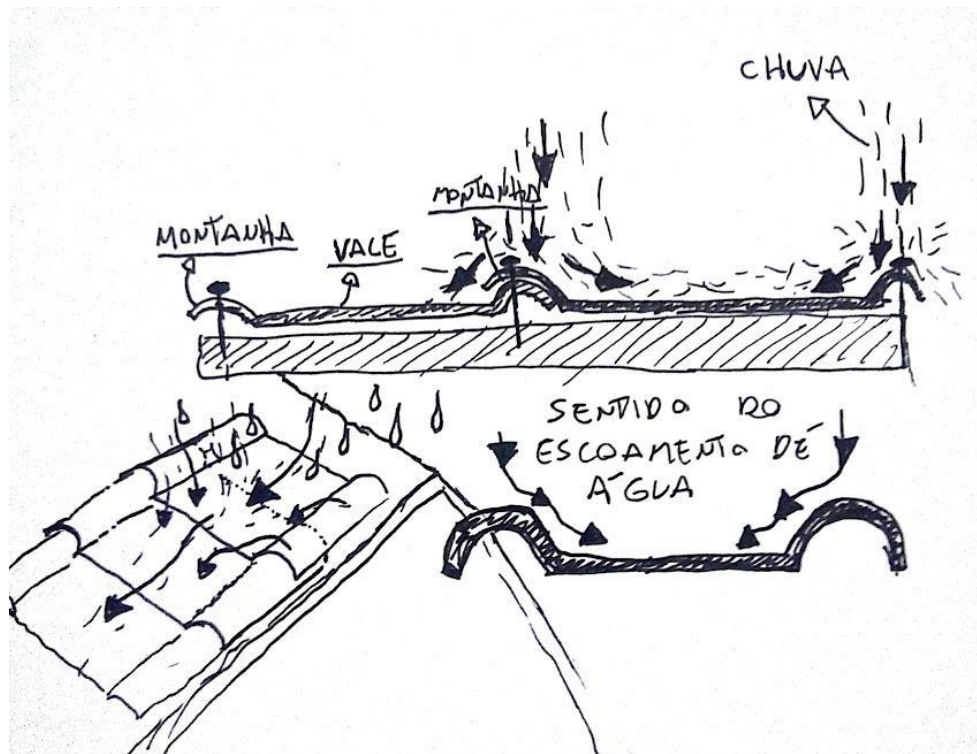


Figura 130: Visualização do sentido de escoamento de água proveniente da chuva ou irrigação. Elaboração própria.

ESTRUTURAÇÃO, FIXAÇÃO DO BIDIM E ARMAZENAMENTO DE ÁGUA

Para que o painel não deforme com o peso da vegetação somado a quantidade de água que essa reterá, foi preciso desenhar uma estrutura para a forma que será termo formada, a fim de proporcionar rigidez ao módulo. Para aproveitar o desenho e geometria dessa estrutura, a desenhamos de tal forma que ela servisse também como compartimento para o Bidim e reservatório de água.

A estrutura deveria ligar as duas extremidades do painel, a fim de distribuir igualmente às tensões a ela submetidas. Cogitamos na estruturação em forma de *honeycomb*, pois sua configuração em *grid* hexagonal, utilizada para a estruturação das paredes de aeronaves, distribuiria as tensões igualmente pela superfície do painel, mas através de fontes acadêmicas, compreendemos que esse tipo de estrutura não resiste tão bem à flexão, sendo destinada principalmente às aplicações que submetem forças de compressão sobre a estrutura. Logo, voltamos a considerar a *grid* ortogonal.

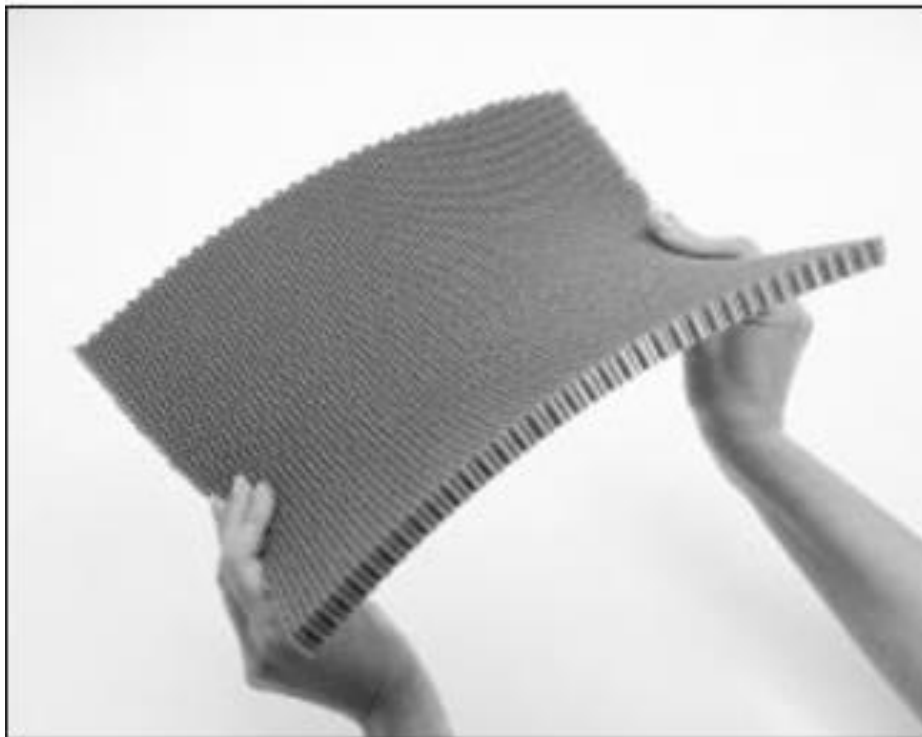


Figura 131. Flexão das estruturas em honeycomb. Fonte: <https://web.archive.org/web/20100601083938/http://www.hexcel.com/NR/rdonlyres/599A3453-316D-46D6-9AEE-C337D8B547CA/0/HexwebAttributesandProperties.pdf> (Acessado em 1/12/2018).

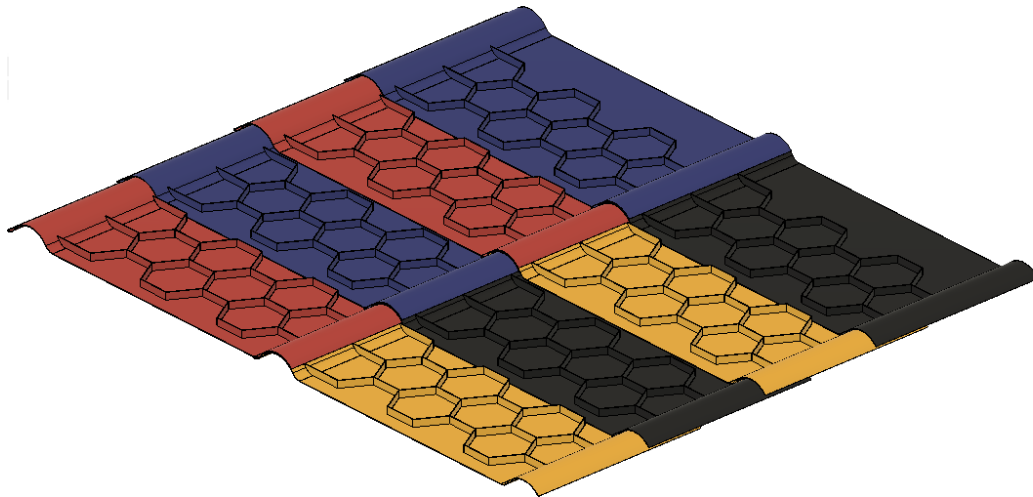


Figura 132: Modelo com estrutura em honeycomb. Elaboração própria.

Até agora havíamos elaborado a estrutura com paredes de 2mm de espessura, seguindo a espessura do restante da peça, porém, as paredes da estrutura não poderiam ser termo formadas e então adaptamos o grid ortogonal para a termo formação com o ângulo de saída de 15° para facilitar a extração da peça do molde. Para saber se a estrutura será suficiente para impedir a deformação do painel vegetado, devem ser feitas simulações de esforço mecânico em programas de modelagem 3D e fabricar um protótipo e observando sua resposta com o tempo, porém, essas ações não couberam dentro do escopo e tempo do presente projeto, tendo que ser adiadas para pesquisas futuras.

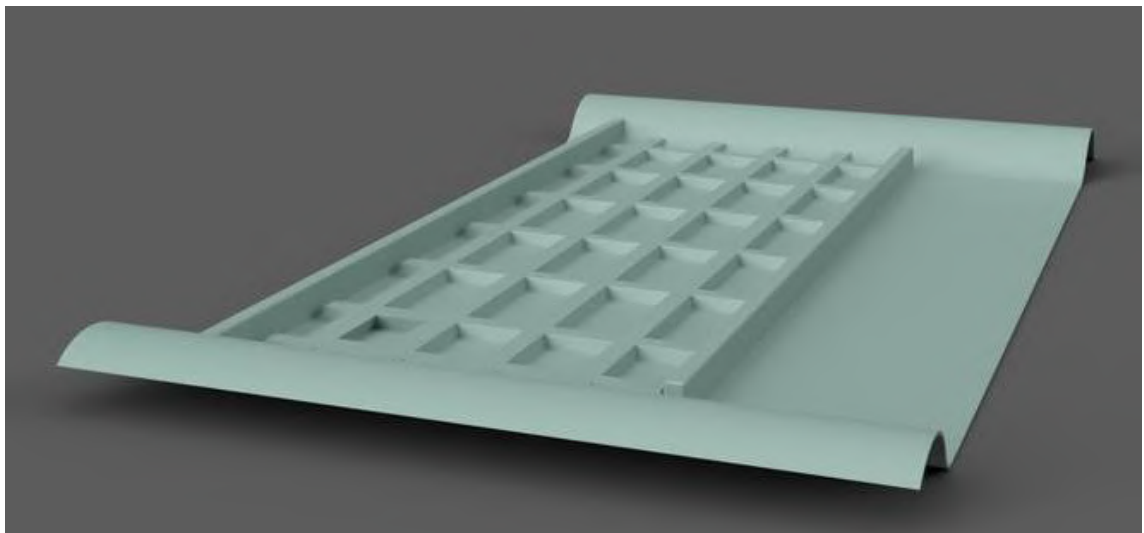


Figura 133: Transição da estrutura em honeycomb para a ortogonal, com as linhas da estrutura extrapolando a base plana do painel e se juntando até uma porção dos arcos das montanhas. Elaboração própria.

Essa estrutura permitiu a criação de pequenos reservatórios de água entre as paredes da estrutura, o que é vantajoso para o projeto, porque permite que o Bidim e as raízes das plantas possam entrar em contato com esse reservatório quando lhes faltar água proveniente das chuvas ou da irrigação (se for necessária, já que a vegetação é resistente a períodos de seca e algumas dessas espécies ou suas semelhantes já são comumente encontradas em telhados onde não há irrigação artificial). Na imagem abaixo podemos observar o contato entre plantas, Bidim e água no reservatório. Quando houver maior inclinação do telhado, a quantidade de água não será tão proveitosa devido ao seu escoamento, mas como o peso da vegetação fará o Bidim tocar no “chão” do painel, isso também permitirá a barragem e desaceleração do escoamento de água.

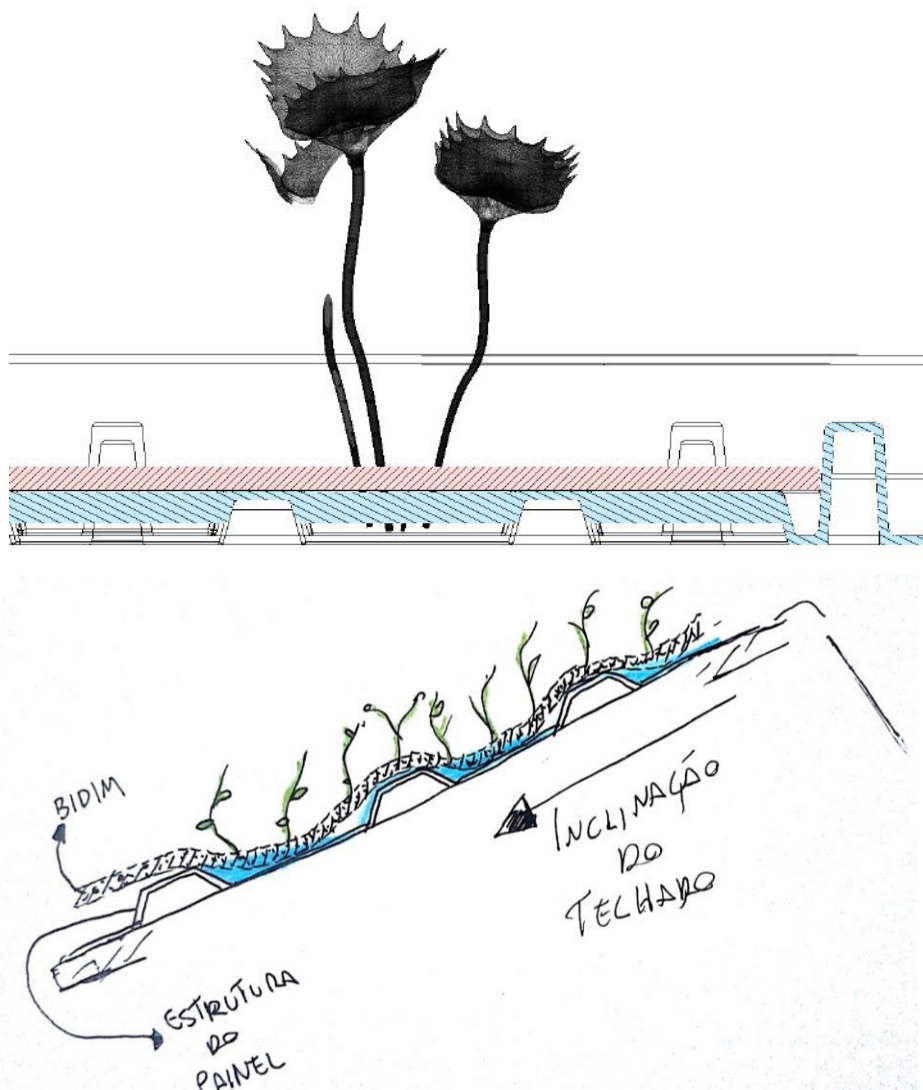


Figura 134: Vistas laterais em corte do aproveitamento da estrutura do módulo para a retenção de água. Elaboração própria.



Figura 135: Experimento feito com bandeja de polipropileno com 15mm de altura para observar a retenção de água do compartimento. Elaboração própria.

A fixação do Bidim no compartimento também foi um ponto crítico do projeto, pois o Bidim é um material leve e de trama aberta (fibras de poliéster não tecidas) e sua má fixação juntamente com o impacto de ventos e chuvas fortes pode acarretar no desprendimento do Bidim e das plantas. Inicialmente optamos pela fixação do Bidim por meio da solda química utilizada para unir joelhos (conexões) e tampões (caps) entre tubos de PVC de encanamento, pois desta maneira a fixação do Bidim perfurado e encaixado em pinos macho e fêmea seria garantida.

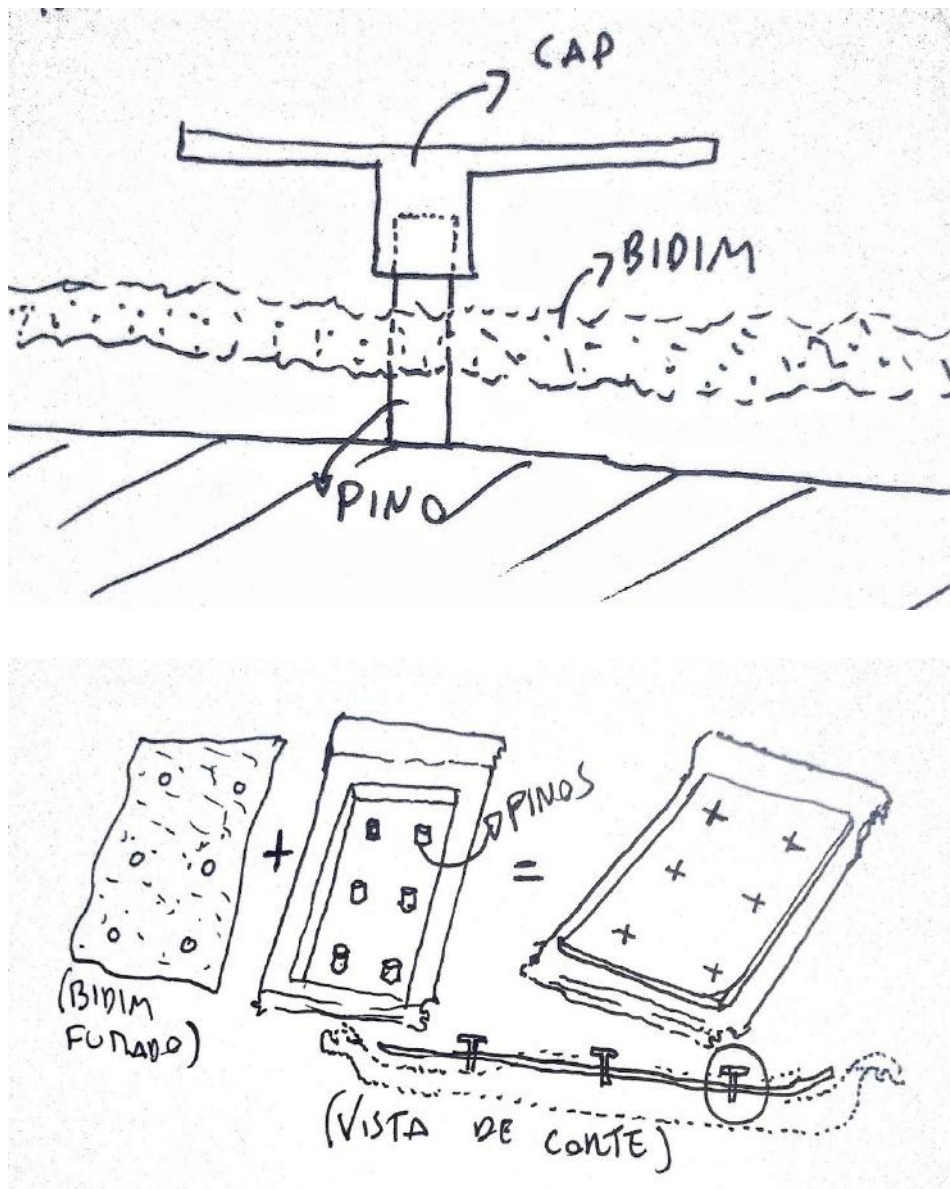


Figura 136: Ilustração de encaixe do Bidim nos pinos e sua fixação por meio de solda química entra o pino e a tampa. Elaboração própria.

Após esses desenhos, percebemos que seria interessante que o Bidim pudesse ser retirado de seus pontos de fixação, porque durante a instalação do módulo, o mesmo poderá ser serrado de acordo com o tamanho e estrutura do telhado, pois nem sempre o telhado vai “acabar” coincidindo com uma extremidade e final do módulo, precisando ser cortado de acordo com o telhado na hora da instalação. Esse procedimento será realizado pelo telhadista que deverá ter a possibilidade de usinar a peça com facilidade e, para isso acontecer, é necessário que a vegetação e o Bidim sejam destacáveis do compartimento e a melhor forma de solucionar isso foi por meio do encaixe com pequenos parafusos auto brocantes que podem ser desaparafusados no momento da instalação caso seja necessário. Para pesquisas futuras, podemos pensar realizar esse encaixe apenas por pressão, mas não achamos uma solução de encaixe por pressão que poderia ser termo formada.

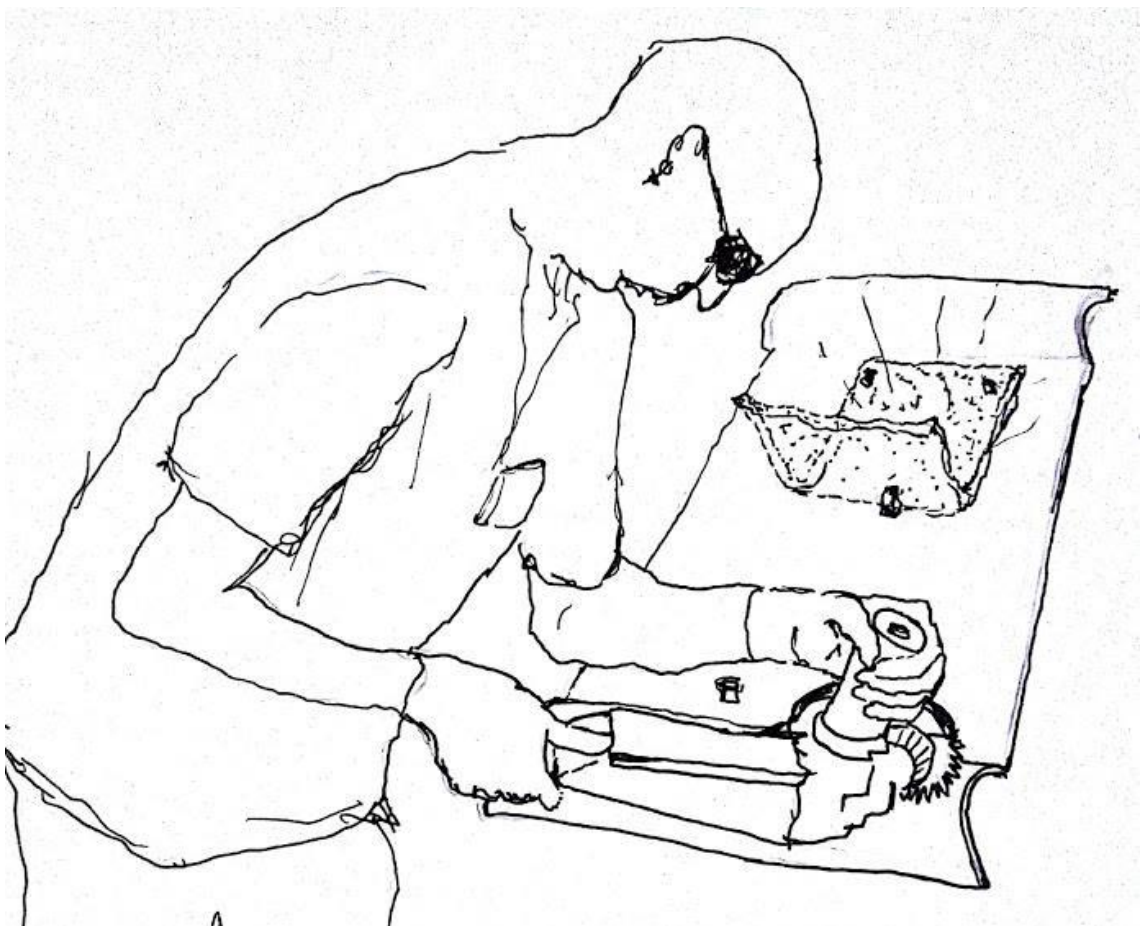


Figura 137: Simulação do corte do painel no momento da instalação por meio de uma serra elétrica. Nota-se que se o corte seria dificultado caso tivesse que ser realizado na área onde tem vegetação e Bidim, logo, vê-se a necessidade de destacar o bidim e a vegetação. Elaboração própria.

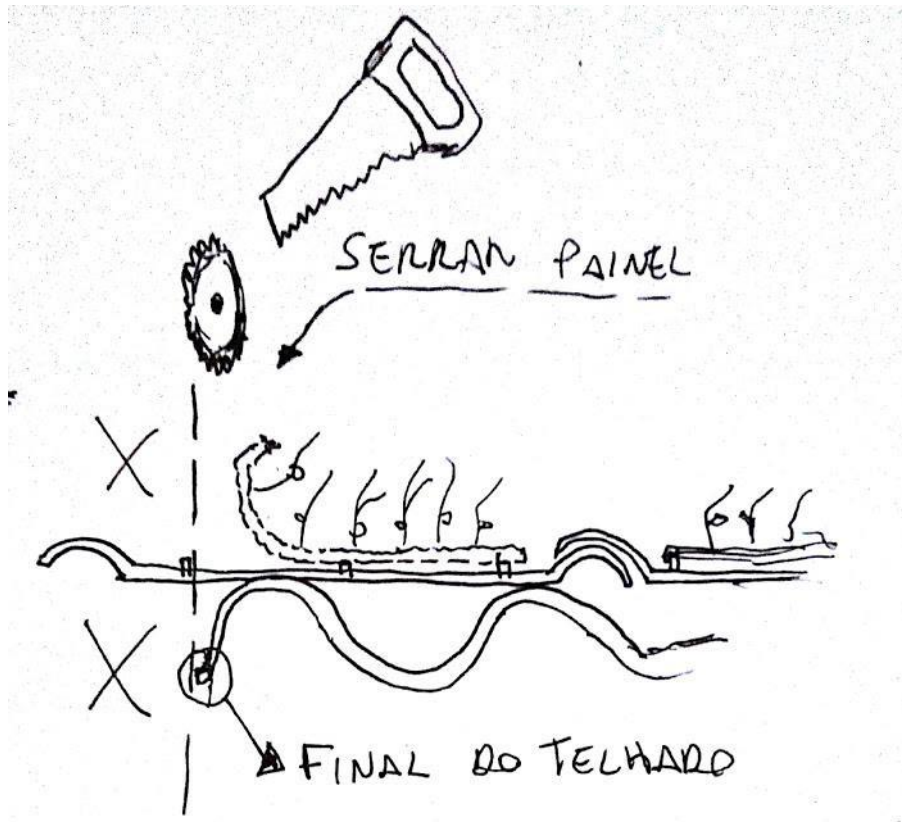


Figura 137: Demonstração da necessidade de corte do painel quando a área do telhado acabar. Elaboração própria.

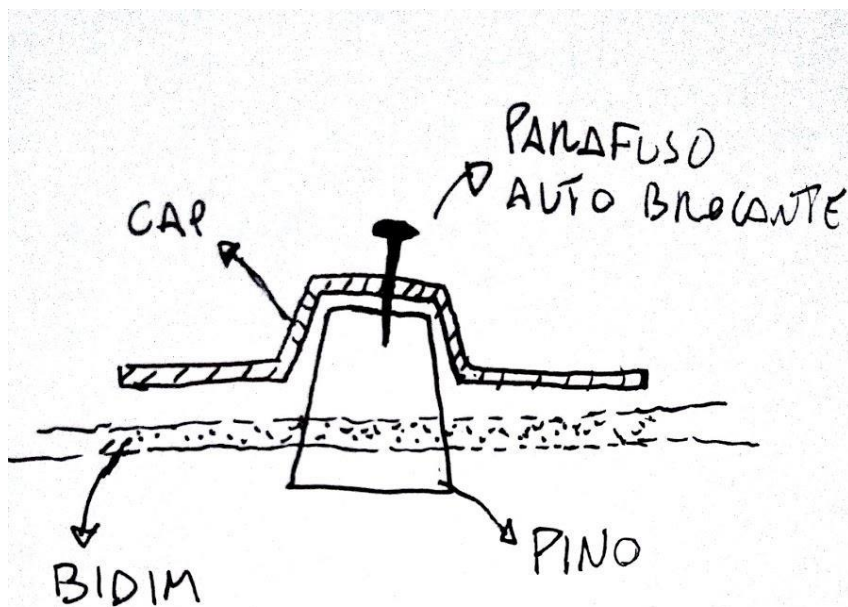


Figura 138: Vista em corte do encaixe do Bidim com pinos e parafuso auto brocante. Elaboração própria.

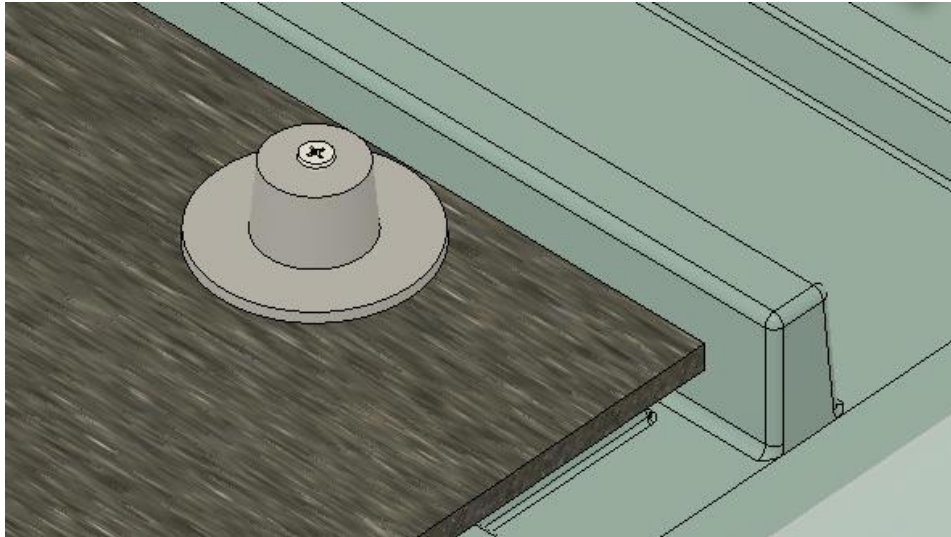


Figura 139: Detalhe da fixação do Bidim com parafuso auto brocante. Elaboração própria.

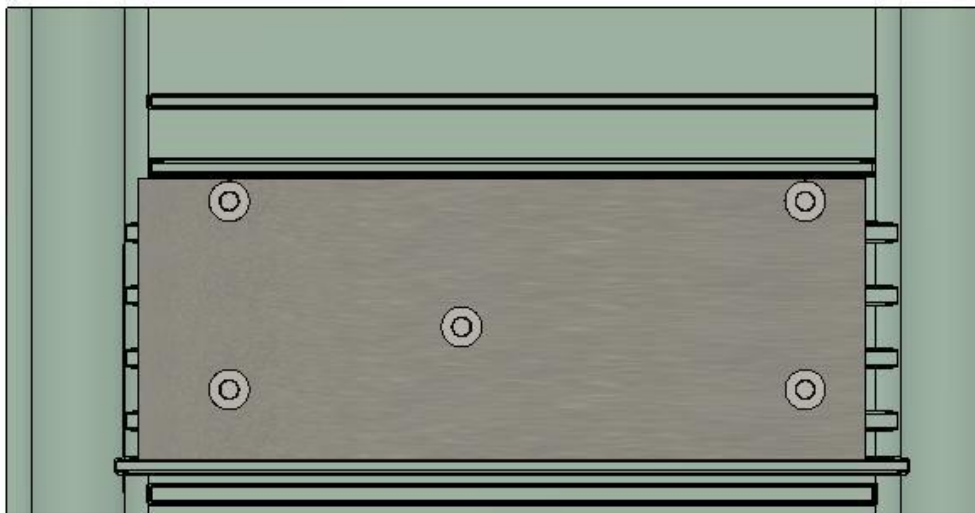


Figura 138: Vista superior do módulo com Bidim anexado em 5 pontos pela superfície do painel. Elaboração própria.

ENCAIXES LATERAL E LONGITUDINAL

Para definir os encaixes aproveitamos a mesma lógica de sobreposição e parafusamento usada pelas telhas de PVC, PP, fibrocimento e fibra de vidro. O encaixe por sobreposição e parafusamento só é possível e eficaz devido a menor espessura dessas telhas, que quando sobrepostas, não criam espaço entre essas e as ripas do telhado, sendo possível aparafusar com um parafuso de tamanho que varia com a altura da montanha da telha.

Para o encaixe lateral adotamos as mesmas medidas da ondulação da telha de PVC identificadas no mercado, as medidas podem ser vistas nas imagens abaixo. É importante lembrar que os módulos serão aparafusados uns aos outros e pela espessura de 2mm do módulo, este possui certa flexibilidade e se ajustará sob pressão quando aparafusado no outro, eliminando o espaço entre ambos.

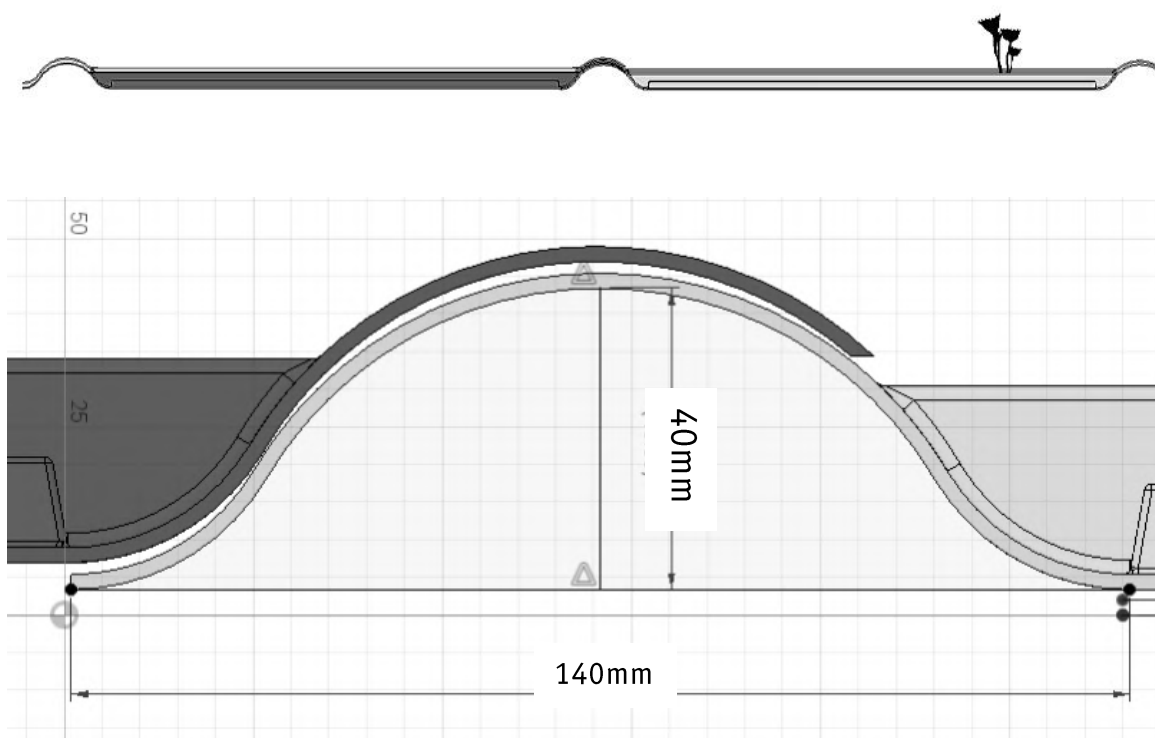


Figura 140: Medidas do arco que realiza o encaixe lateral. Elaboração própria.

O arco da extremidade direita do módulo teve que ser reduzido pois esse estava encostando na parede da estrutura do módulo sobreposto. Podemos ver na figura abaixo.

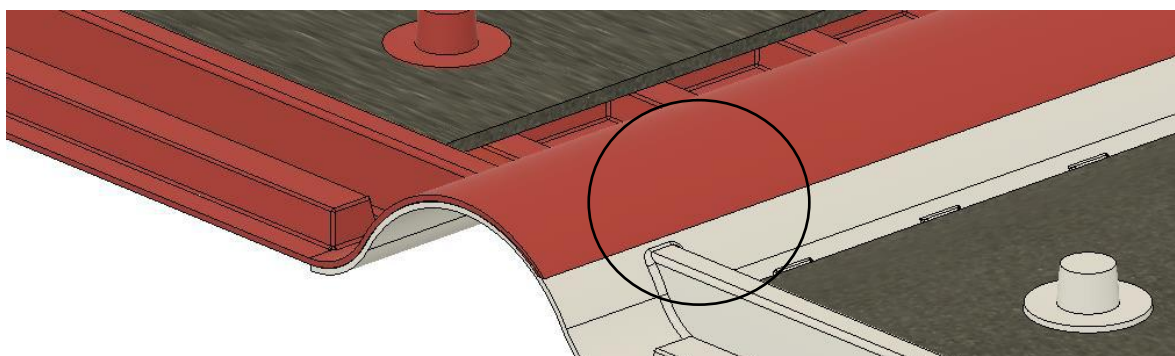


Figura 141: Vista em perspectiva do encaixe lateral entre dois painéis e o ponto de contato entre o arco lateral e a parede da estrutura do módulo sobreposto. Elaboração própria.

O encaixe longitudinal é também chamado de transpasse ou sobreposição das telhas e cada tipo de telha demanda um transpasse diferente para que haja o impedimento do recuo e infiltração de água. Para definir o transpasse do módulo pesquisamos a medida recomendada pelos fabricantes das telhas de PVC e fibrocimento, pois apresentam espessuras entre próximas a 2mm. A distância que um módulo sobrepõe o outro para as telhas de PVC 2mm da fabricante PRECONVC³⁶ é de no mínimo 15cm para as telhas de 2.33m x 0.88m. Adotamos essa medida por precaução, porque mesmo que nosso módulo tenha apenas 0.50m de largura, o acúmulo de água pode ser maior entre cada módulo por causa da estrutura, Bidim e vegetação, que barrarão o escoamento de água, criando poças de água entre cada módulo caso o telhado não tenha inclinação aguda e chova muito.

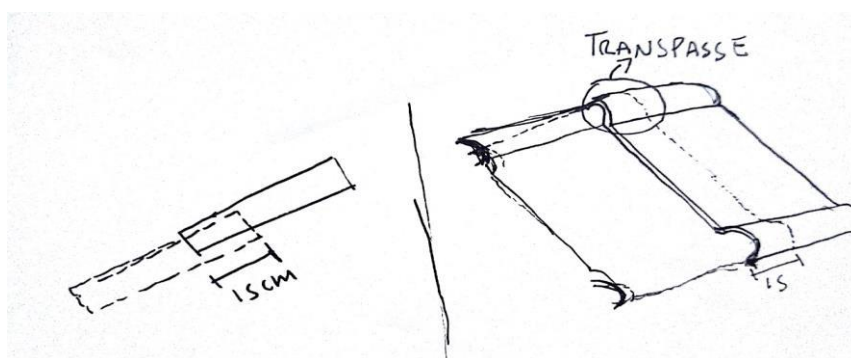


Figura 142: Representação do transpasse em telhas. Elaboração própria.

³⁶ https://precon.com.br/porta1/wp-content/uploads/2018/09/Manual-PreconVC_V18_baixa.pdf

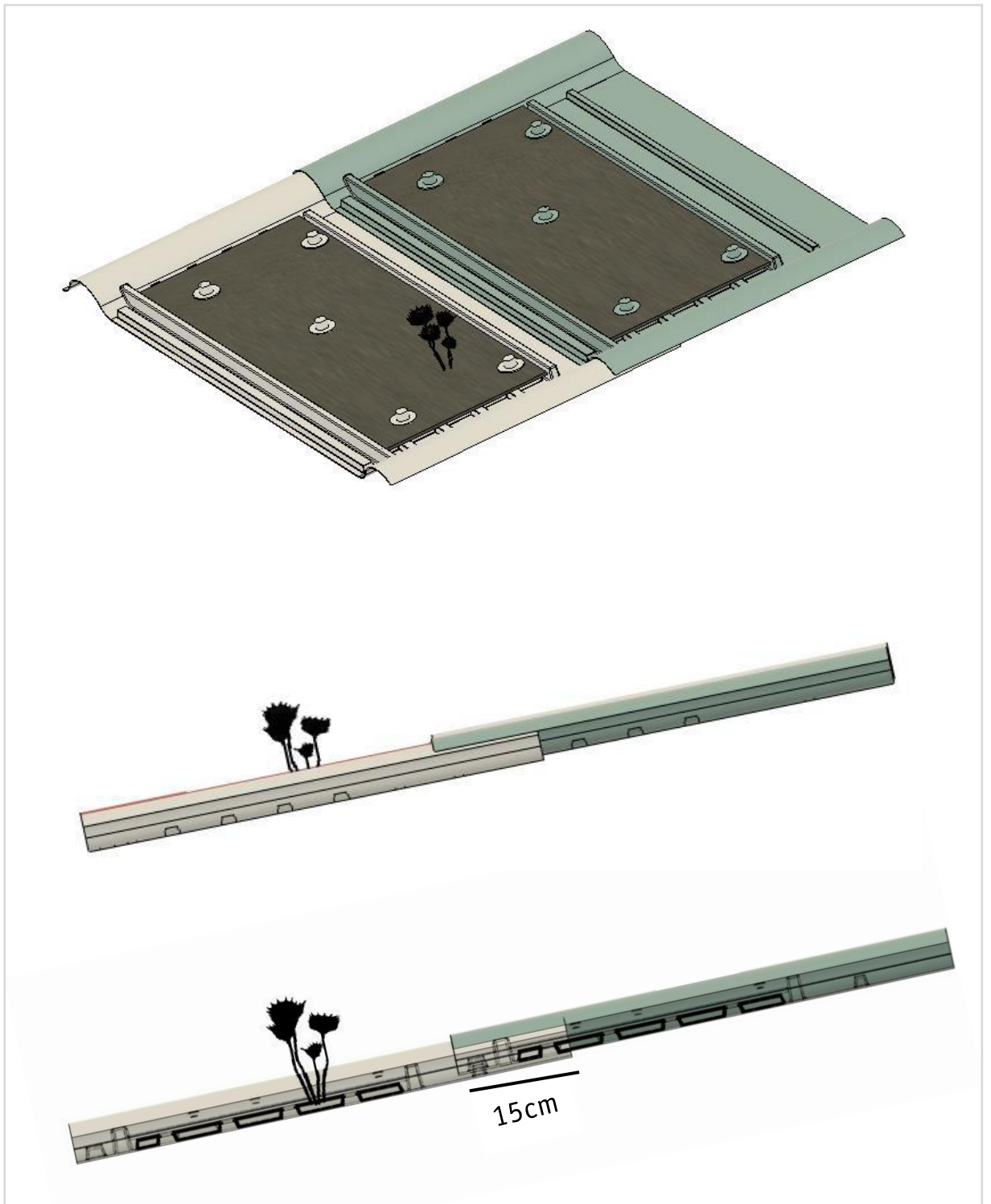


Figura 143: Representação do transpasse (encaixe longitudinal) dos módulos vegetados. Elaboração própria.

Para impedir que a água retorne por conta de ventos fortes na direção oposta à inclinação do telhado, desenhamos uma barreira que serve para dificultar o recuo de água e para encaixar um módulo no outro longitudinalmente, facilitando a instalação desses durante a montagem no telhado inclinado. Caso não houvesse esse encaixe, os módulos escorregariam para baixo por conta da inclinação do telhado e seria difícil para a pessoa que instalasse os módulos segurar o painel e fixar ao mesmo tempo.

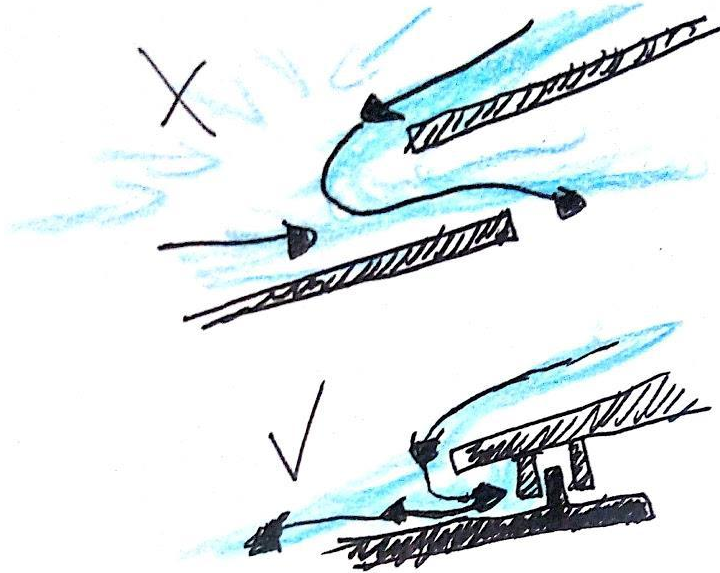


Figura 144: Diferença entre uma sobreposição simples entre módulos que é suscetível à infiltração da água em ventos fortes e uma sobreposição com encaixe que dificulta a passagem de água por entre os módulos. Elaboração própria.

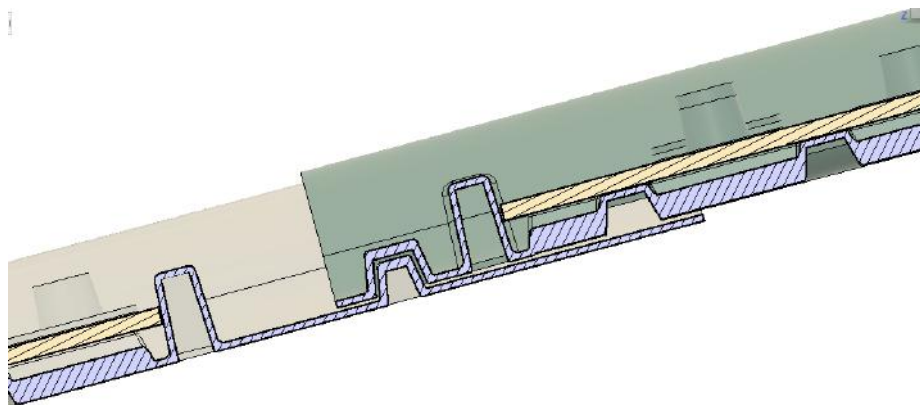


Figura 145: Vista em corte da barreira de água e encaixe longitudinal. Elaboração própria

Por fim, fechamos a forma final do produto, com todos os aspectos formais definidos, detalhados e justificados. Abaixo encontram-se imagens do produto para melhor entendimento da forma. Após essas figuras, detalharemos aspectos de acabamento, instalação e ambientação do produto.



Figura 146: Vistas das faces superior e inferior do módulo. Elaboração própria.

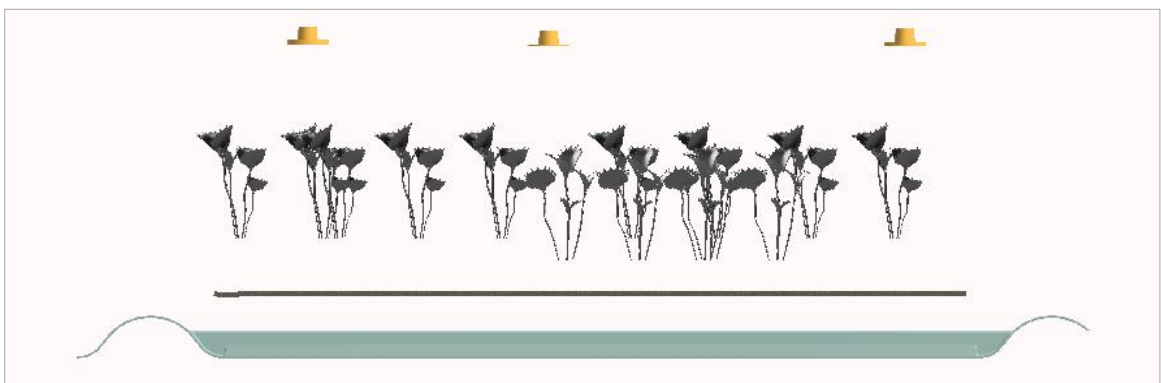
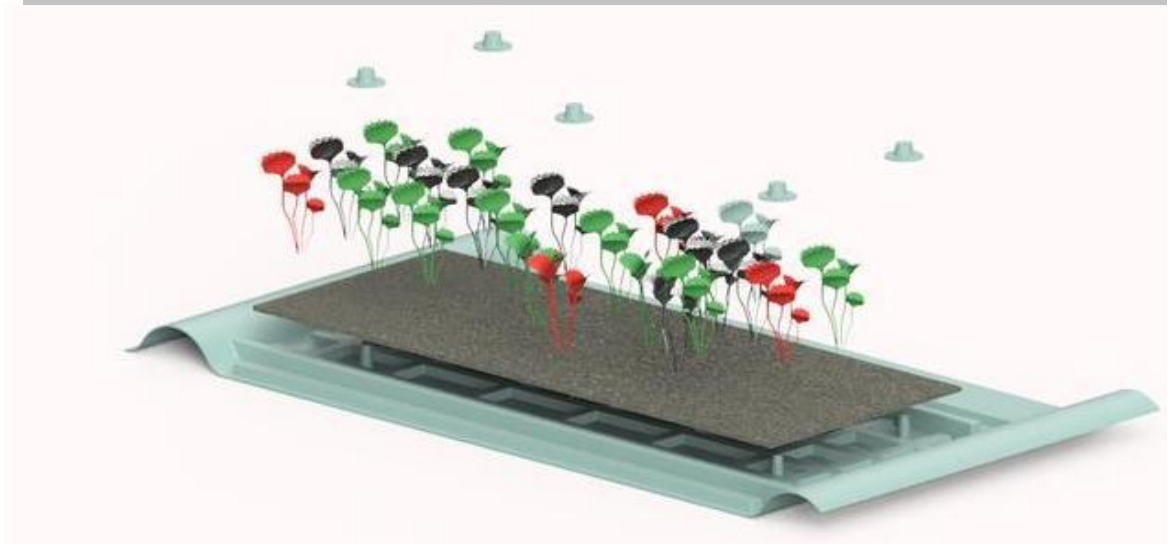
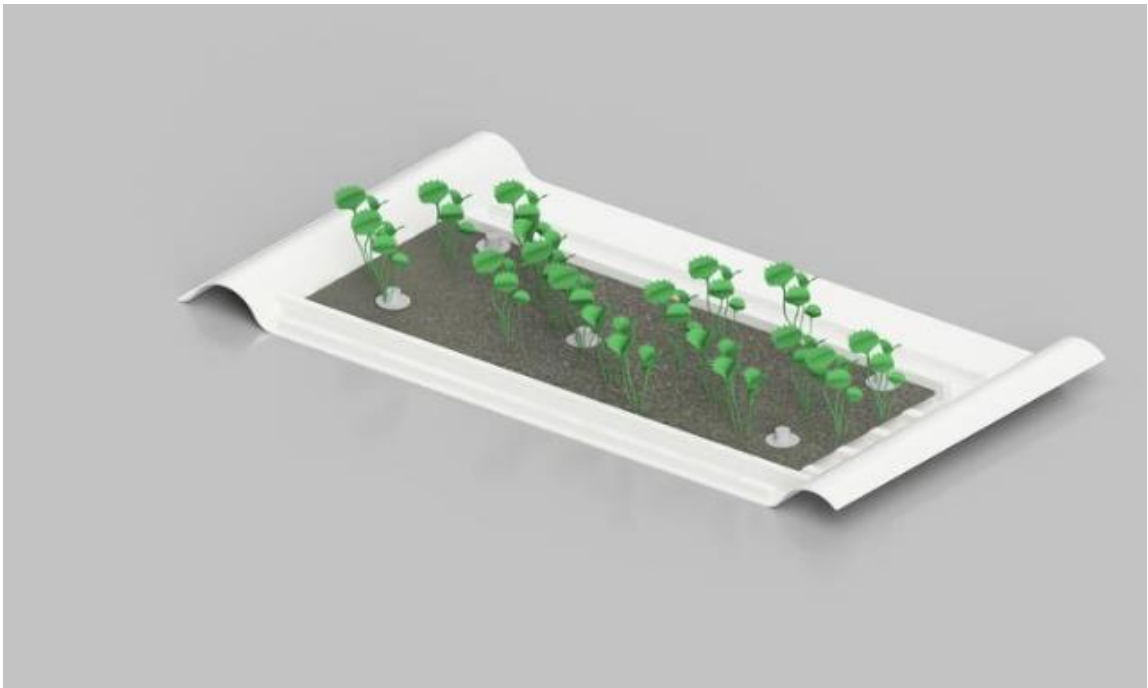


Figura 147: Vistas em perspectiva e explodida do painel e seus componentes. Elaboração própria.

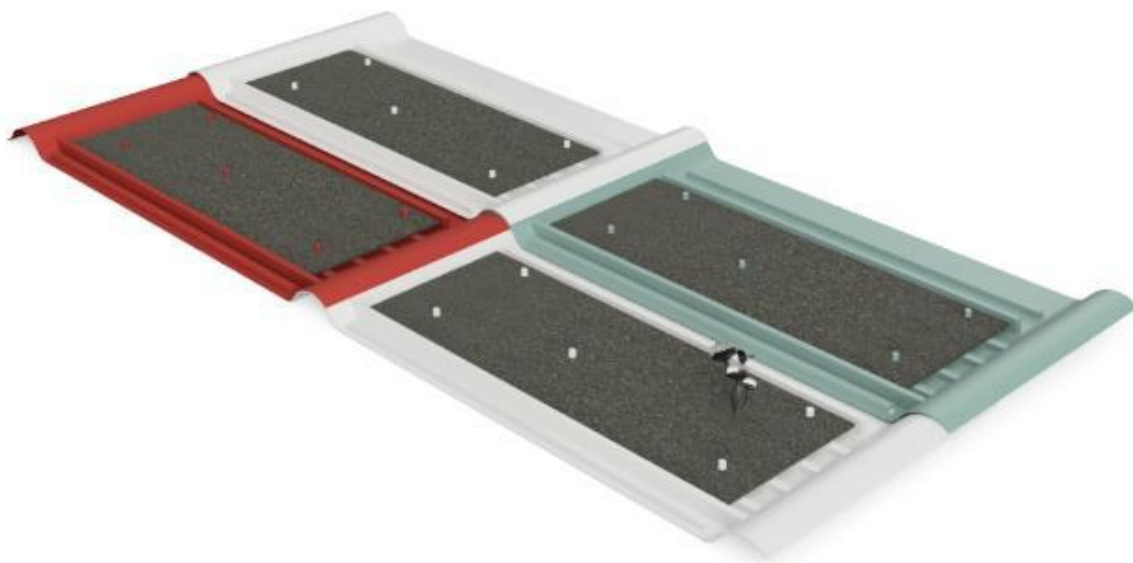


Figura 148: Vista em perspectiva de um quadrante de painéis. Elaboração própria.

4.2 Instalação do produto em diferentes aplicações

O produto desenvolvido pode ser utilizado como uma telha a ser instalada em qualquer tipo de cobertura com engradamento seguindo a mesma técnica de instalação das telhas plásticas, termo acústicas, metálicas, fibrocimento ou fibra de vidro, na qual as peças são colocadas seguindo uma ordem de sobreposição (sentido de montagem) sobre o engradamento e fixadas umas na outras e nas ripas com parafusos auto brocantes.

Já para a aplicação do produto em telhados já cobertos com telhas ou laje, a técnica de instalação varia de acordo com o tipo de cobertura existente no telhado. A seguir, detalharemos a diferença entre os modos de instalação entre a instalação do produto como uma telha e como retrofit aos diversos tipos de cobertura.

MÓDULO COMO TELHA

A inclinação mínima para o telhado que o produto desenvolvido será instalado não pode ser afirmada com total certeza, uma vez que esse valor só pode ser encontrado a partir de testes que simulam as condições climáticas reais da região onde o produto será comercializado. Porém, recolhendo as informações obtidas através de sites de fabricantes de telhas de PVC como PRECONVC® e FIBRARTE®³⁷, recomendamos as declividades mínimas de 5% (2,9°) para telhados de uma água e 10% (5,7°) para duas ou mais águas.

Conhecendo o tamanho e *layout* do telhado, pode-se calcular a quantidade de telhas que serão sobrepostas no engradamento do telhado. Com o material já transportado para o local de instalação (todos os módulos vegetados), os profissionais em construção de telhados poderão elevar as peças manualmente, içando com cordas e roldanas ou com guindastes se estiverem disponíveis. Com as telhas vegetadas já na cobertura, esses deverão fazer a montagem das telhas no seguinte sentido e ordem:

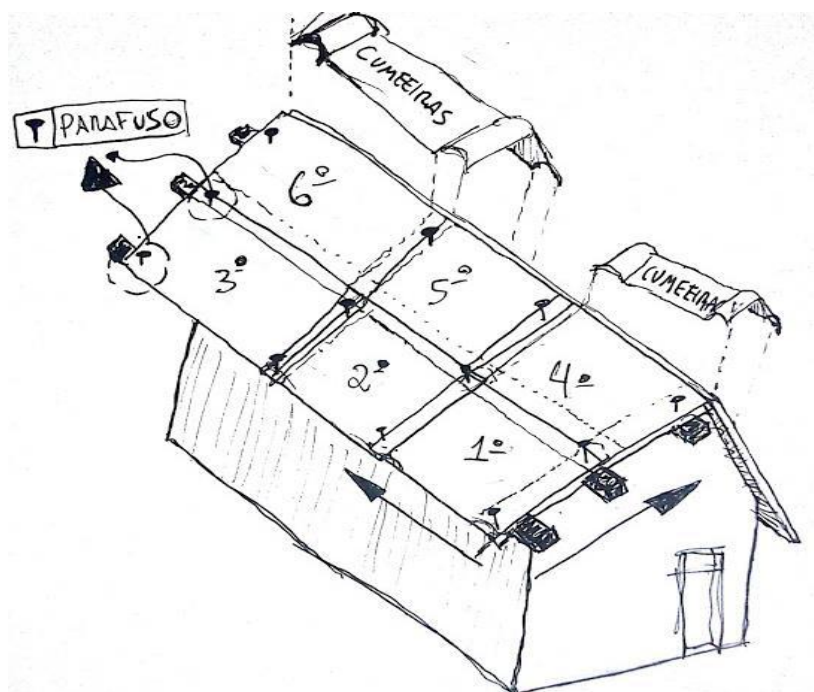


Figura 149: Sentido e ordem de instalação dos painéis vegetados usados como telha. O sentido é de baixo para cima, da direita para a esquerda. Elaboração própria.

³⁷ Manuais técnicos das telhas de PVC da Preconvc e Fibrarte:

> https://precon.com.br/portal/wp-content/uploads/2018/09/Manual-PreconVC_V18_baixa.pdf

> http://fibrarte.com.br/wp-content/uploads/2017/04/manual_pvc.pdf

(Acessados em 2/12/2018).

Os parafusos usados na instalação devem ser do tipo auto brocante 3 ½" (88.9mm de comprimento) e conter argolas de vedação e tampas.



Figura 150: Tipo de parafuso que deve ser usado na fixação dos módulos.

Fonte: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-884790773-kit-parafusos-de-telha-colonial-pvc-itec-saco-com-20-unidade-_JM?quantity=1 (Acessado em 02/12/2018).

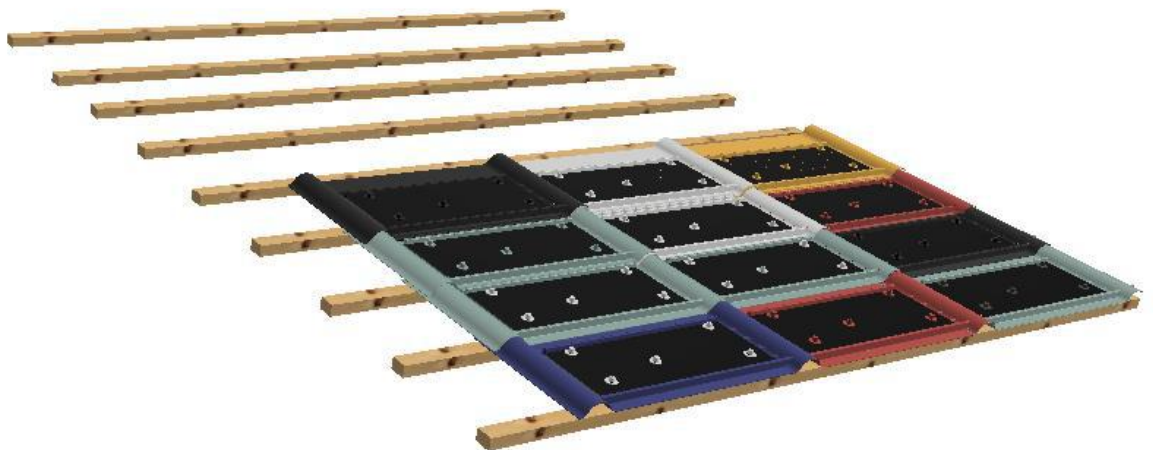


Figura 151: Simulação do assentamento dos painéis nas ripas do telhado. Elaboração própria.

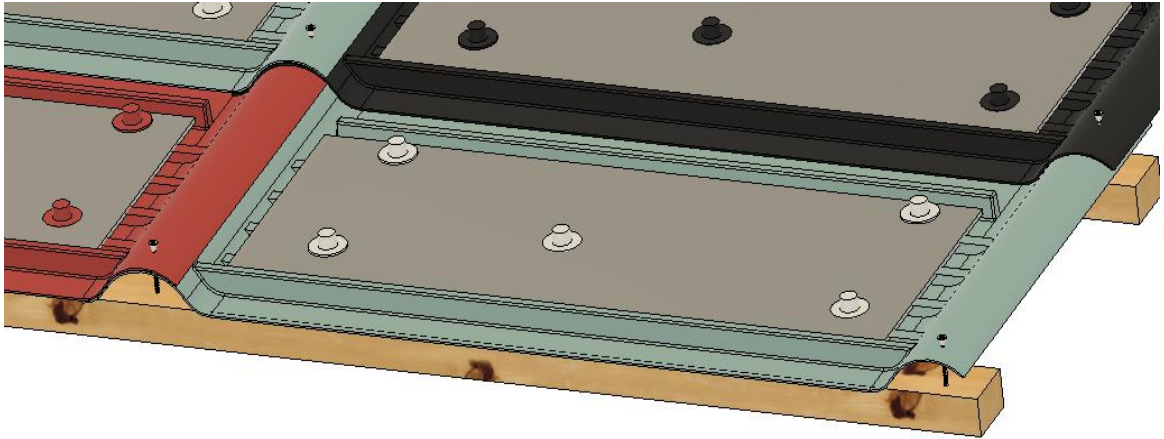


Figura 152: Painel fixado em 4 pontos nas regiões de topo dos módulos. Elaboração própria.

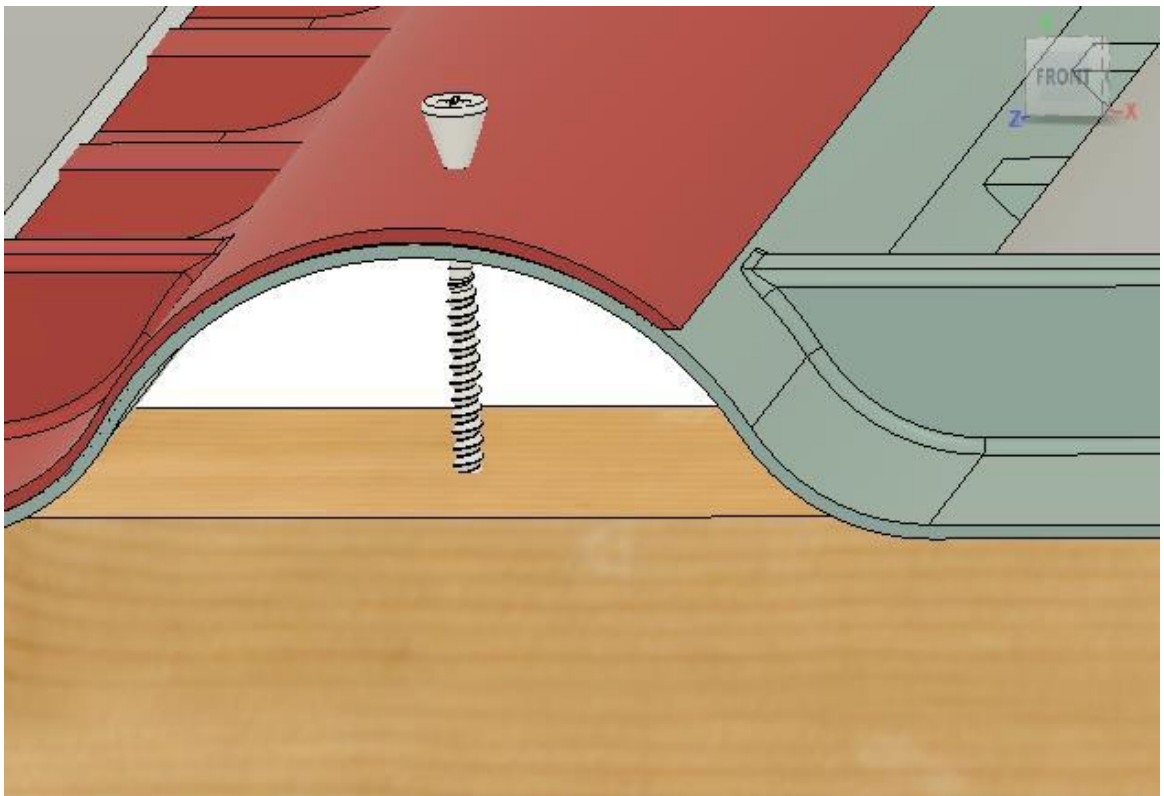


Figura 153: Detalhe da fixação da telha por parafuso auto brocante. Elaboração própria.

MÓDULO COMO RETROFIT

O uso do painel como retrofit de telhados existentes se dá de maneira diferente para cada tipo de cobertura. Ao depararmos com a complexidade de projeção para as telhas cerâmicas, optamos por apenas sugerir uma solução baseada nos painéis solares que será apresentada após a demonstração de como o painel vegetado pode ser instalado sem dificuldades nos demais tipos de cobertura, o que confere uma grande vantagem para nosso produto, pois teoricamente é adaptável aos tipos mais comuns de telhado observados no âmbito nacional.

Telhas plásticas, termo acústicas, metálicas, fibrocimento ou fibra de vidro

Para esses tipos de telha, a instalação é simples e similar ao uso do painel apenas como telha. A única diferença é que a fixação do painel deve ser realizada aonde o mesmo toca nas montanhas da telha que estiver por baixo, uma vez que todas essas possuem o mesmo perfil composto de montanhas e vales. Para demonstrar a instalação mostraremos a seguir apenas a montagem do painel sobre uma telha de fibrocimento, mas é válido ressaltar que o painel é adaptável as demais telhas mencionadas.

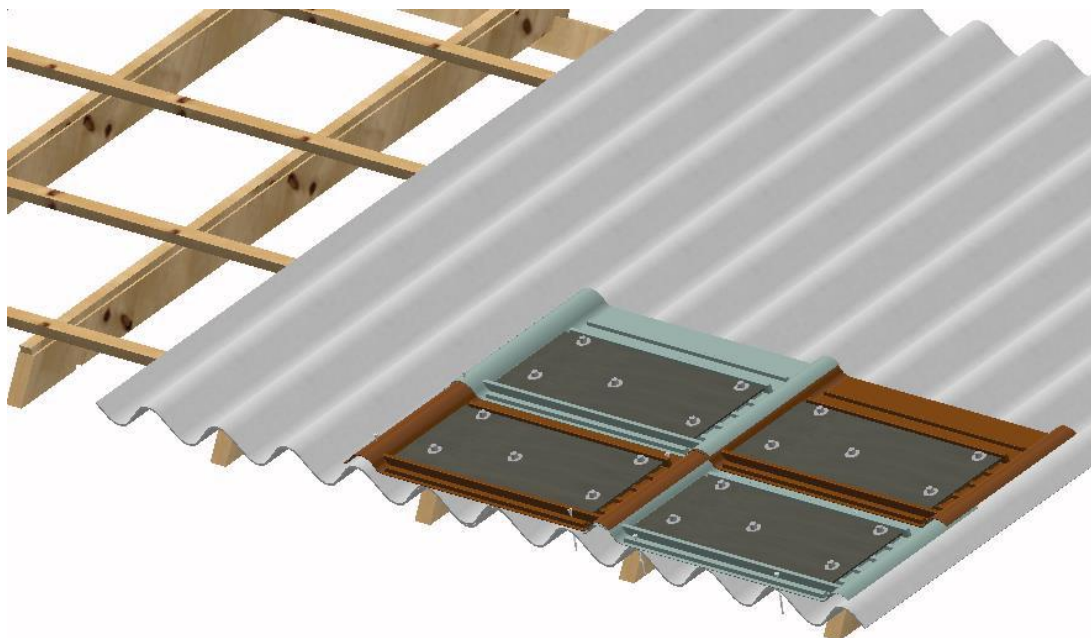


Figura 154: Simulação de um quadrante de painéis instalado em uma telha de fibrocimento. Elaboração própria.

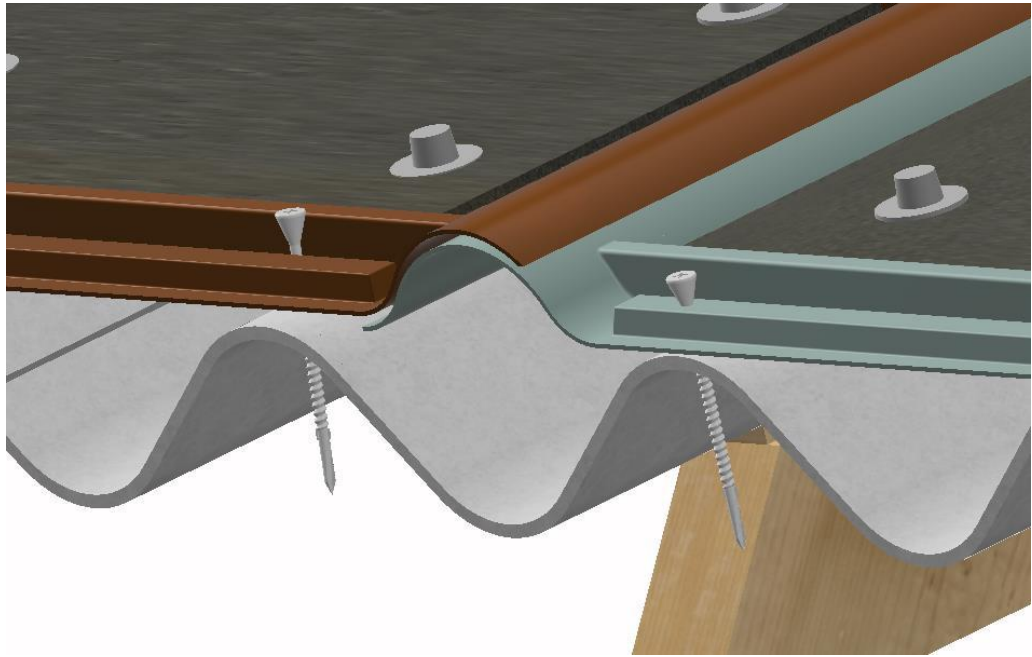


Figura 155: Detalhe da fixação do painel nas montanhas da telha. Elaboração própria.

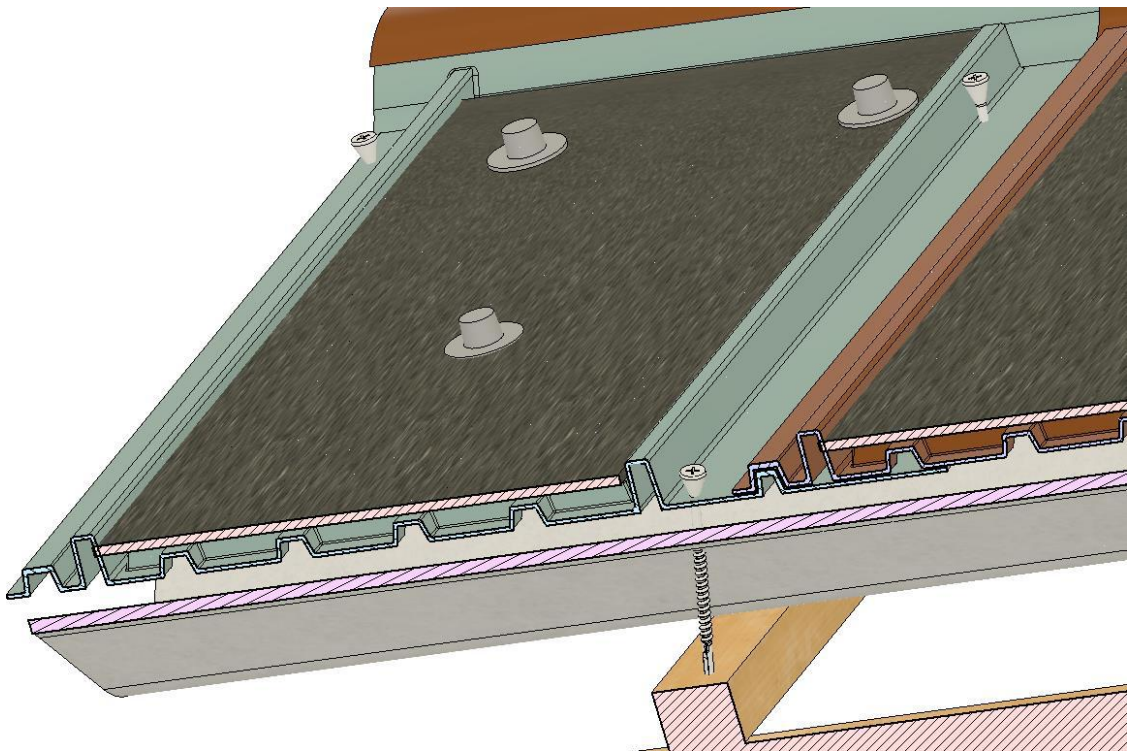


Figura 156: Vista em corte do parafuso atravessando o painel e a telha até fixar na ripa do engradamento. Elaboração própria.

Nas imagens anteriores, podemos ver que nem sempre a área de furação vai coincidir com a posição da montanha da telha e da ripa para o parafuso se fixar com mais segurança. Com isso, deveríamos testar na prática se os parafusos que atravessam o painel e a telha, mas que ficam “flutuando”, ou seja, não encontram a ripa, dão conta de fixar o painel na telha. Caso isso não ocorra, devemos redimensionar o módulo ou usar porcas nos parafusos para fixa-los melhor nas telhas.

Telhas cerâmicas

A instalação dos painéis em telhas cerâmicas foi um ponto que não pôde ser melhor desenvolvido devido à sua complexidade e falta de tempo para terminar o presente projeto, sendo assim, apresentaremos as soluções que pesquisamos, mas que deverão ser repensadas em projetos futuros.

Como as telhas cerâmicas não podem ser parafusadas por conta da fragilidade do material (barro), pensamos em fixar os painéis com cola e fizemos uma breve pesquisa onde encontramos alguns materiais que dizem colar PVC em cerâmica, porém notamos que a área de contato entre a superfície inferior do painel e as montanhas das telhas seria muito pequeno, enfraquecendo o ponto de cola e a fixação do módulo. Além disso, a modularidade do produto seria prejudicada pela fixação com cola já que para reparar uma telha quebrada seria necessário arrancar a cola do painel que cobrisse a telha. Contudo, a fixação com cola poderia trazer enorme praticidade para a instalação, sendo esse um dos motivos para que futuramente as colas pesquisadas no mercado sejam testadas e avaliadas.

A outra maneira que apresentamos como possibilidade de instalação em telhas cerâmicas é utilizando os mesmos equipamentos e técnicas empregadas na instalação de painéis solares em imóveis com telhas cerâmicas. Nesses casos, há a colocação de suportes que contornam a telha e são a parafusadas nos caibros do telhado, nesses suportes, perfis de alumínio são presos e neles os painéis solares são encaixados. Podemos ver nas próximas figuras o funcionamento do sistema com painéis solares e a adaptação desse para nosso painel vegetado.



Figura 157: Mecanismo de instalação de painel fotovoltaico em telhado de telhas cerâmicas. Fonte: <https://www.perfilcm.com.br/energia-solar/ceramica2/> (Acessada em 2/12/20/18).

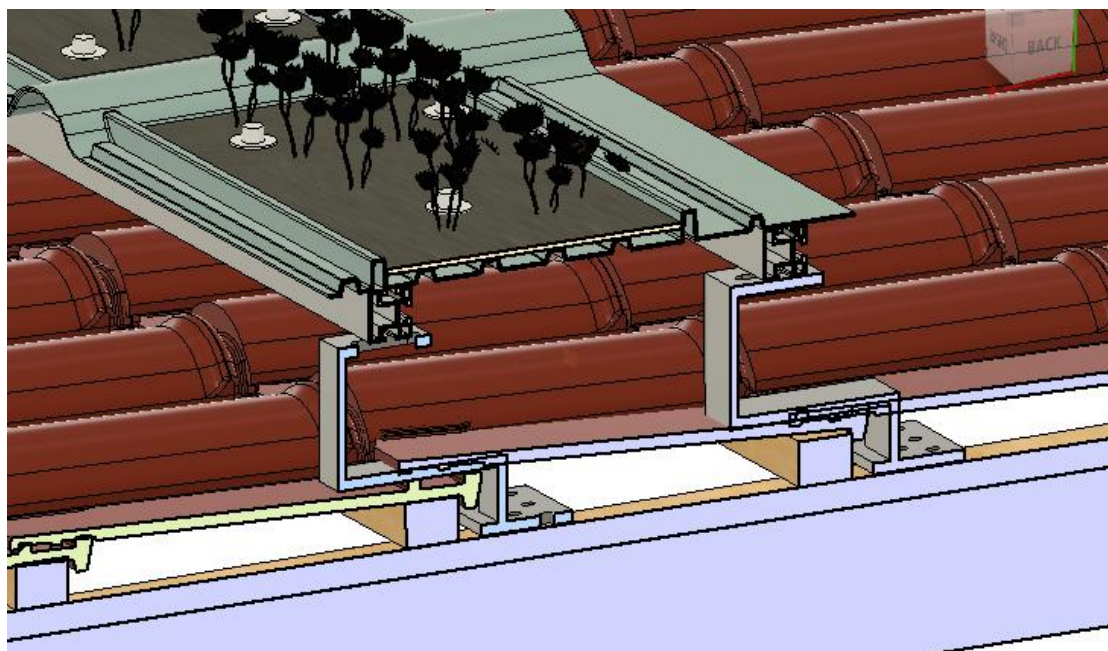


Figura 158: Vista em corte do uso do sistema de fixação dos painéis solares para a fixação dos painéis vegetados. Elaboração própria.

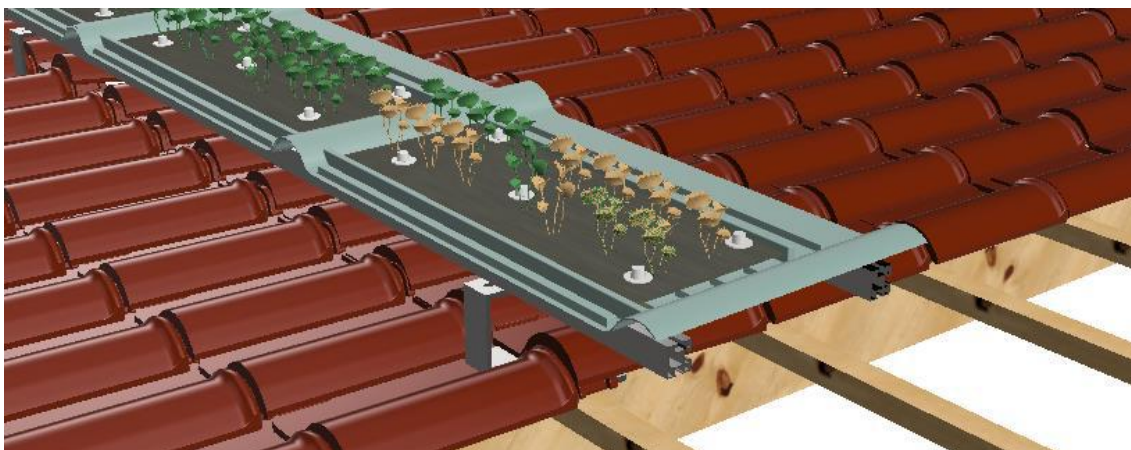


Figura 159: Simulação da instalação de painéis vegetados em telhado de telhas cerâmicas. Elaboração própria.

A partir das simulações percebemos que o produto deveria ser redimensionado para que a quantidade de trilhos/perfis fosse reduzida, assim como o trabalho manual que o processo de instalação dos painéis vegetados. Notamos também, a maior complexidade do telhado cerâmico e a instalação dos painéis, que demandariam um tempo maior para adaptar o produto a esse caso ou o desenvolvimento de outro produto que fizesse parte da mesma linha do painel desenvolvido no presente projeto.

Lajes impermeabilizadas

Com o mesmo pensamento sobre as telhas cerâmicas, nosso projeto não é inteiramente projetado para ser aplicado em coberturas com lajes pavimentadas. Entretanto, devido a maior simplicidade da estrutura, que é geralmente apenas uma área plana concretada, podemos sugerir a possibilidade de aplicação dos painéis vegetados nessas coberturas. Como foi visto na análise de similares, a maioria dos sistemas foca na aplicação em coberturas pavimentadas, e são configurados de maneiras diversas, em tapetes de vegetação ou em compartimentos plásticos com vegetação terrestre que são apenas posicionados na área da cobertura. Nosso produto poderá ser disposto sobre a superfície da cobertura sem que haja fixação por parafuso, pois as lajes costumam ser planas, eliminando a necessidade de fixação dos módulos.

ACABAMENTOS

Quando as águas do telhado se encontram no espigão ou a área do telhado termina, é preciso realizar o corte dos painéis para que esses possam se alinhar com o contorno do telhado. O que é feito nas telhas do mercado já foi apresentado nos capítulos anteriores, mas para lembrar, quando há o encontro de inclinações em um telhado, no topo de um telhado em forma de pirâmide, por exemplo, as telhas são usinadas e uma peça complementar é montada sobre as telhas cortadas. Essas peças complementares seguem o mesmo desenho da telha utilizada e são chamadas de cumeeiras ou capas. Os painéis vegetados podem ser cortados com serrote ou serra elétrica, pois a espessura e plasticidade do material permitem o corte com facilidade.

É preciso modelar essas peças complementares para finalizar o acabamento do telhado apenas quando o painel for utilizado como uma telha (direto sobre o engradamento), pois quando já existe telha no telhado, pode-se aproveitar as cumeeiras e capas do telhado existente. Devido ao tempo limitado da presente pesquisa, não foi possível projetar tais peças complementares, porém, sabe-se que com a forma do painel já definida, o desenho das peças complementares se torna facilitado.

As telhas de PVC são instaladas juntamente com um kit de vedação, composto por mantas térmicas ou asfálticas que cobrem os espaços onde o encaixe das telhas foi imperfeito. O mesmo pode ser utilizado durante a instalação dos painéis vegetados por ser composto do mesmo material.

4.3 Manutenção e Irrigação

Como visto anteriormente, a manutenção de sistemas de telhado verde é um ponto crítico, pois o surgimento de plantas invasoras pela deposição de sementes através do vento, animais polinizadores ou outros axiomas, é imprevisível e incontrolável. Todas as empresas de telhado verde pesquisadas na análise de similares disponibilizam uma equipe técnica para realizar a manutenção dos telhados de uma a duas vezes por ano caso seja necessária. O mesmo será feito para a comercialização dos painéis vegetados propostos nesse projeto. Se o acesso ao telhado for fácil, não há necessidade de chamar uma equipe

especializada e a retirada de plantas que crescerem desproporcionalmente pode ser feita manualmente ou com um podão.

Caso a manutenção não seja acionada, nosso produto deverá prever o aumento de peso da vegetação, sendo rígido o suficiente para aguentar o surgimento de plantas externas ao sistema. Contudo, o tipo de vegetação e substrato selecionados para nosso sistema, é em si um limitador para a sobrevivência de plantas invasoras, pois grande parte das plantas invasoras “prefere” o substrato terra para se desenvolver. É claro que diante dos fatos não podemos afirmar que o produto não demandará manutenção, porém, podemos salientar que as chances de uma espécie se desenvolver a ponto de danificar o telhado é mínima e isso não seria motivo para deixar de adquirir qualquer sistema de telhado verde por conta dos inúmeros benefícios que esses proporcionam.

Em relação à irrigação, será preciso um período mais longo de teste para afirmar que as plantas testadas até agora não precisam de irrigação, porém, como algumas das espécies já são encontradas em telhados comuns pelos centros urbanos, sem que essas tenham sido colocadas ali propositalmente, existe uma grande chance dessas espécies sobreviverem sem irrigação. Essa possibilidade se torna mais realista uma vez que os painéis seriam pré vegetados sob condições adequadas em um galpão ou em ambientes abertos, fazendo com que a fase mais sensível de desenvolvimento e crescimento das plantas seja garantida até o momento da instalação dos painéis no imóvel.

Caso observemos que a saúde das plantas e o funcionamento do sistema de painel vegetado sem irrigação seja prejudicado, propomos a irrigação por gotejamento, aspersão ou manual, decisão que caberá ao cliente que adquirirá o produto.

O sistema de irrigação por gotejamento foi utilizado na residência de Luís Cassiano, utilizando o experimento de Bruno Rezende mencionado previamente. Esse sistema comprovou sua eficiência e foi notado como o método de menor custo e praticidade na instalação, sendo constituído apenas de um tubo de PVC perfurado conectado à caixa d'água e situado no topo da residência, na qual a água provinda da caixa d'água passava pelo tubo e escoava pelos furos e pela superfície do telhado, hidratando o Bidim e a vegetação.

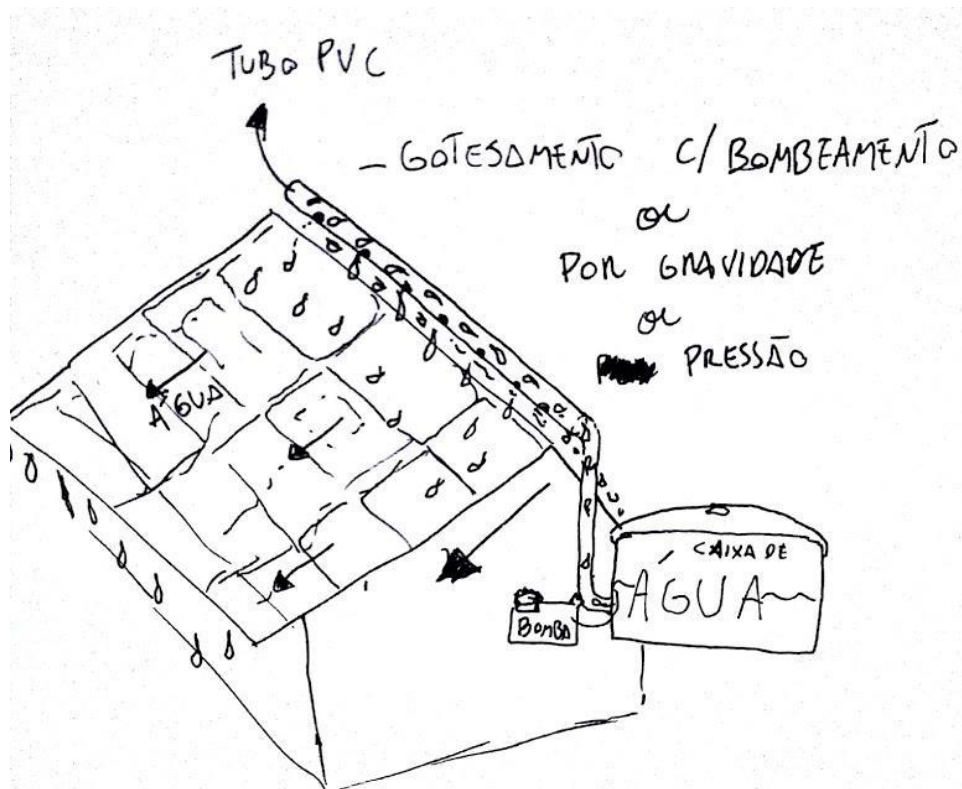


Figura 160: Representação do sistema por gotejamento, na qual a água pode ser transportada da cisterna até os tubos por bombeamento da água, por gravidade (caso a caixa d'água esteja acima do nível do telhado) ou por pressão ao abrir o registro que liga a cisterna e a tubulação, quando a caixa d'água estiver em altura próxima ao topo do telhado. Elaboração própria.

4.4 Material e processo de fabricação

Os módulos serão fabricados a partir de chapas de PVC extrudadas e termoformadas. O PVC usado nas telhas da PRECONVC³⁸ é modificado e misturado com acrilato e aditivos protetores de raios UV, antichamas, anti mofo, anti musgos e fungos e aditivos modificadores de impacto. Além disso, o fabricante alega que o PVC das telhas comercializadas é 100% reutilizável, conferindo mais uma vantagem para sua escolha ao produto desenvolvido.

³⁸ Informações sobre o material obtidas através da seguinte ficha técnica: <https://precon.com.br/portal/wp-content/uploads/2018/02/Ficha-Tecnica-Telha-PreconVC-Colonial-Rv04.pdf> (Acessada em 2/12/2018).

O processo de fabricação dos painéis será a termo formação a partir de chapas de PVC extrudadas. A termo moldagem é um processo de baixo custo quando comparado à injeção para produtos que não são produzidos em larga escala, como tampas de garrada plástica. Além disso, a termo formação é mais adequada para objetos de médio ou grande porte. Nos resta saber se o mesmo PVC utilizado nas telhas pode ser termo formado na geometria do painel que desenvolvemos, porém para obter a resposta à essa dúvida, só será possível quando houver uma consulta técnica com um especialista em termo formação de polímeros ou com testes físicos que nos darão a resposta exata.



Figura 161: Processo de extrusão da chapa de PVC.

Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=fKLQ0Im8yl0> (Acessado em 2/12/2018).

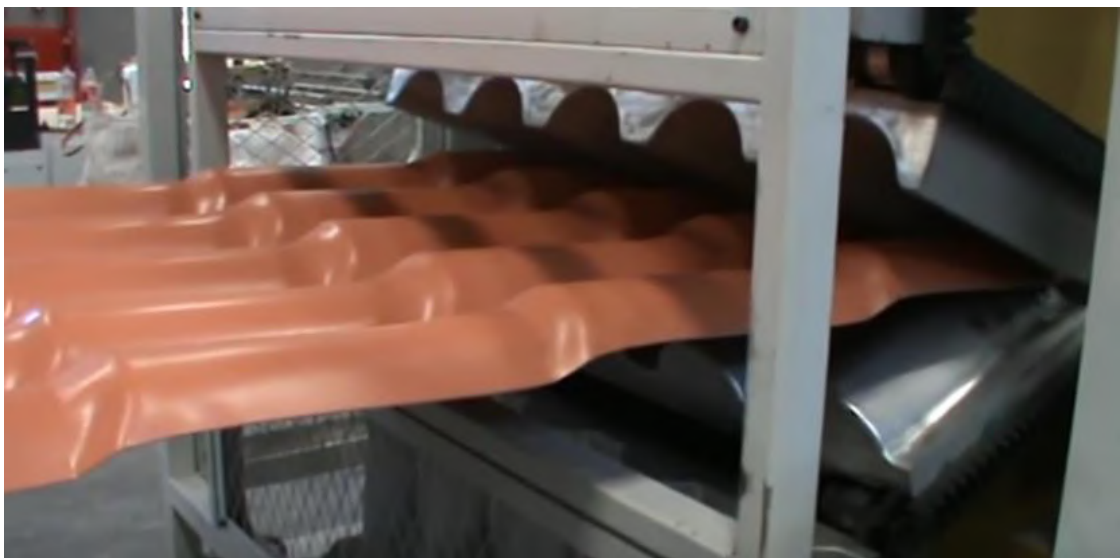


Figura 162: Processo de termo formação da chapa de PVC.

Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=fKLQ0Im8yl0> (Acessado em 2/12/2018).

4.5 Análise de custo

Tomando como base o preço de uma telha de PVC de 2.30m x 0.86 em que a unidade custa R\$79,90 (valor retirado no site da loja Leroy Merlin³⁹), temos que aproximadamente 1m² custa R\$42,00. Considerando que o painel tenha 1m x 0.50m, ou seja, meio metro quadrado, o custo de cada painel pode ser estimado em R\$21,00. Somando o preço do Bidim, que é aproximadamente R\$4,00/m² (Valor retirado do site Mercado Livre⁴⁰), temos que para cobrir um metro quadrado de telhado, o sistema com Bidim e vegetação custará aproximadamente R\$45,00, já que a vegetação será cultivada e multiplicada na empresa ou galpão que o produto for montado e não teria custo adicional. Temos em mente que esse valor não passa de uma estimativa, porém, é baseada nos valores reais dos materiais que compõem o produto.

Essa estimativa, se for verdadeira, atribui uma enorme vantagem em relação aos demais produtos, pois em relação ao custo dos sistemas de telhado verde convencionais vistos no capítulo 2 deste artigo, o desenvolvimento da nova técnica proposta reduz consideravelmente o preço por metro quadrado, além de ser um produto com maior abrangência de aplicações em imóveis, de menor peso por não utilizar substrato e de menor complexidade por ser um sistema de apenas duas camadas além da vegetação.

Em comparação com as telhas convencionais, nosso produto se destaca, pois, além de servir como uma telha, o mesmo já contém em si um sistema de telhado verde que trará inúmeros benefícios ao consumidor, desde economia energética até conforto térmico e acústico.

³⁹ https://www.leroymerlin.com.br/telha-de-pvc-colonial-americana-marfim-0,86x2,30m-axton_88024440?store_code=7&gclid=Cj0KQCQiAoo7gBRDuARIsANeJKUYe17hyxhvnrV0figs8U5nF97b-9QDVxlAdIZzfDohSPH7tEHJMj8YaApzAEALw_wcB (Acessado em 2/12/2018).

⁴⁰ https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1070564833-manta-tecido-bidim-geotextil-drenagem-10x2-mts-200grm2-_JM?quantity=1 (Acessado em 2/12/2018).

Conclusão

A partir da melhor compreensão e pesquisa acerca das técnicas e produtos relacionados a telhados verdes, notamos que esse é um setor com enorme potencial que gera diversos benefícios à população e meio ambiente, porém, dada a sua complexidade, observada durante a projeção do produto, observamos que os produtos existentes e o mercado em si possuem muitas falhas. Com isso, esperamos que o produto aqui desenvolvido possa cobrir algumas dessas falhas e instigar a sociedade e a indústria à geração de produtos com novas abordagens sobre os telhados verdes.

Nessa pesquisa, entramos em contato com diversas áreas de atuação, como botânica e construção civil. Esse intercâmbio enriqueceu o projeto e aos autores do projeto e com isso tivemos base para projetar um produto coerente com o que foi estudado e consciente do que ainda deve ser elaborado. Algumas sugestões para pesquisas futuras são:

- Testar a germinação de sementes e seu desempenho no produto desenvolvido
- Buscar e testar substratos de origem orgânica
- Buscar e testar materiais não derivados do petróleo e com melhores propriedades, como o Plástico Verde, feito à base de cana de açúcar
- Buscar melhores soluções para a instalação do módulo em telhados de cerâmica.
- Estudar formas de unir o produto desenvolvido com muros verdes.

Referências bibliográficas

BONI, F. UGREEN - **Telhado Verde, o Guia Completo**, por Filipi Boni. > ugreen.com.br. Acessado em 12/06/2018.

CATUZZO, H. **Telhado Verde: impacto positivo na temperatura e umidade do ar**. O Caso da Cidade de São Paulo. 2013. 206 f. Tese (Doutorado) – Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

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

JHONSTON, J.; NEWTON, J. **Build Green: A guide to using plants on roofs, walls and pavements**. London. 2004.

KALUVAKOLANU, P. **History of Greenroofs**. December 2006.

KÖHLER, M.; CLEMENTS, A. M. **Green Roof Infrastructures green roof infrastructures in Urban Areas**. New York. 2013.

MINKE, G. **Telhados verdes – Simples e eficientes** (Tradução livre de Dacher Begruen – einfach und wirkungsvoll). Editora: Okobuch Verlag U. Versand. 2010.

MOREIRA, E. (2014). **Balanco de energia e evapotranspiração na cidade do Recife-PE por sensoriamento remoto**. Tese (Doutorado) – Departamento de Ciências Geográficas, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

PELEGRINO, P. **Prédios Vivos** >http://www.saopaulo.sp.leg.br/apartes-anteriores/wp-content/uploads/sites/9/2017/03/revista_apartes_MAI14_10a14.pdf. (Acessado em 19/10/2018).

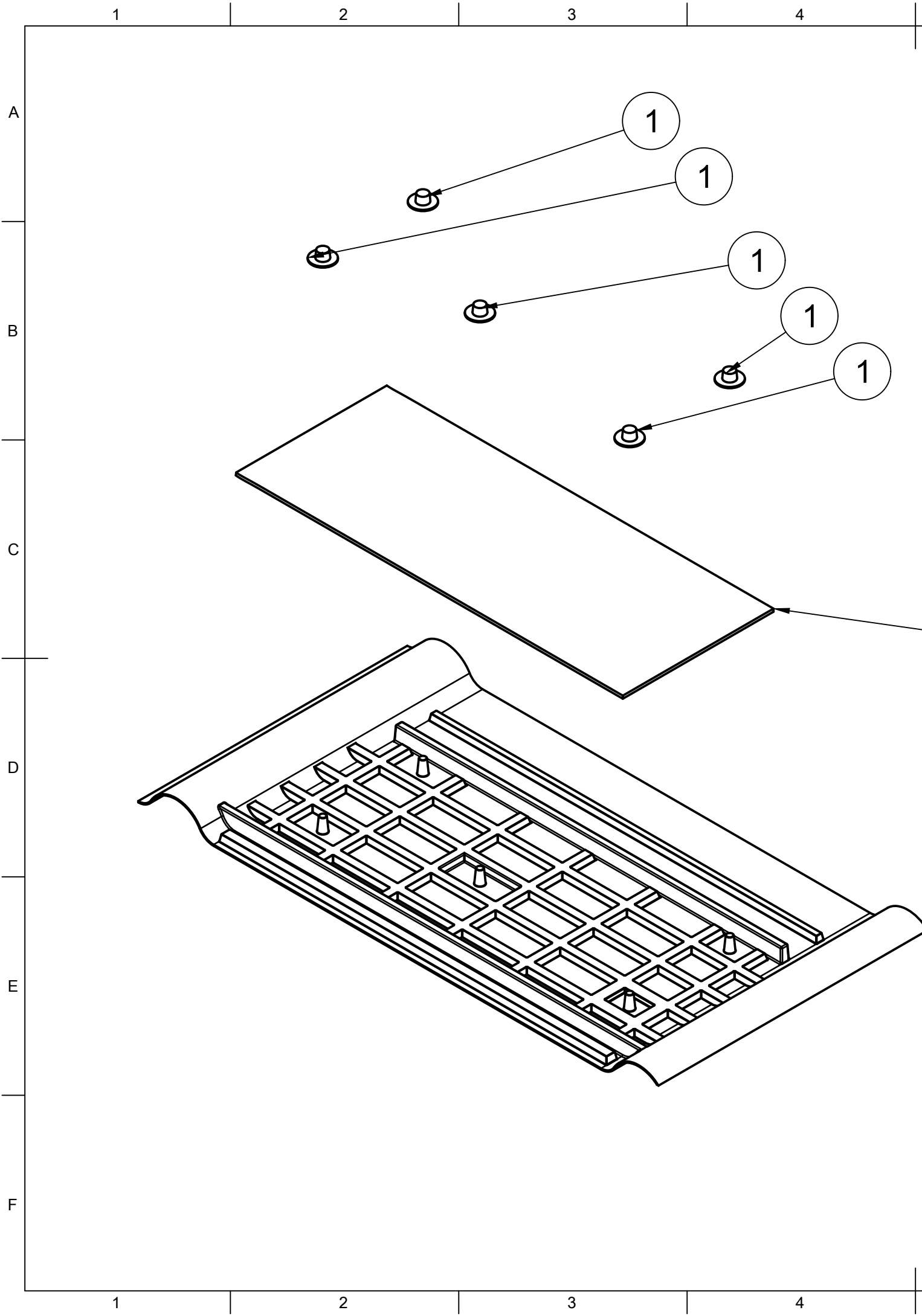
ROBERTO, D. **Relatório determinação da resistência à flexão de telhas cerâmicas.** Curso de Engenharia Civil – Centro Universitário Luterano de Palmas – ULBRA. 2014, Tocantins.

ROLA, S. M.; MACHADO, L. F. C.; BARROSO-KRAUSE, C. M. L.; ROSA, L. P. **Naturação, água e o futuro das cidades no contexto das mudanças ambientais globais.** CBA-2003 – Congresso Brasileiro de Arquitetos, Rio de Janeiro, 2003.

ROSSETI, K. et al. **Abordagem sobre as barreiras e benefícios da utilização do sistema de telhado verde em áreas urbanas de regiões tropicais.** Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research médium, pág. 55-77. 2013.

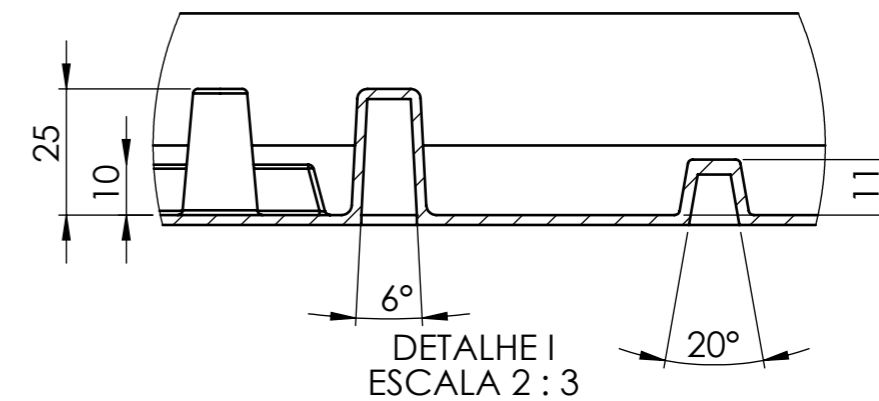
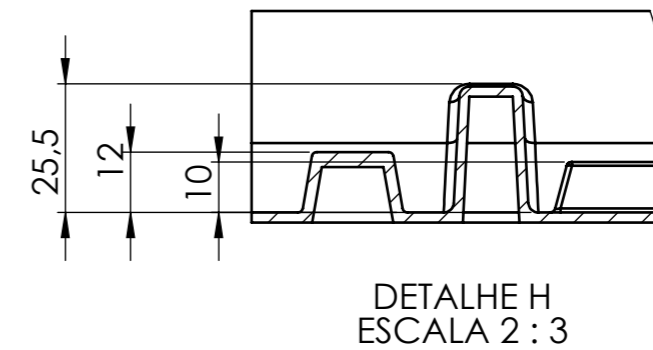
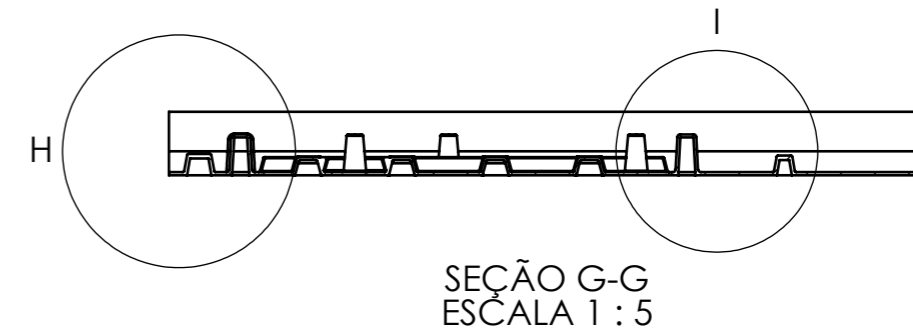
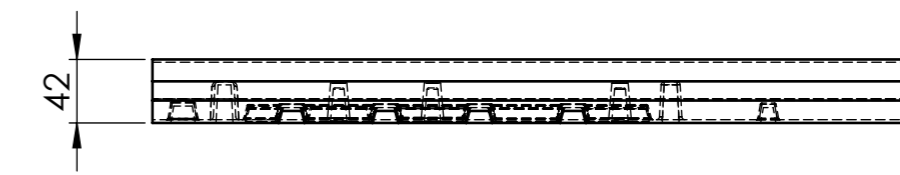
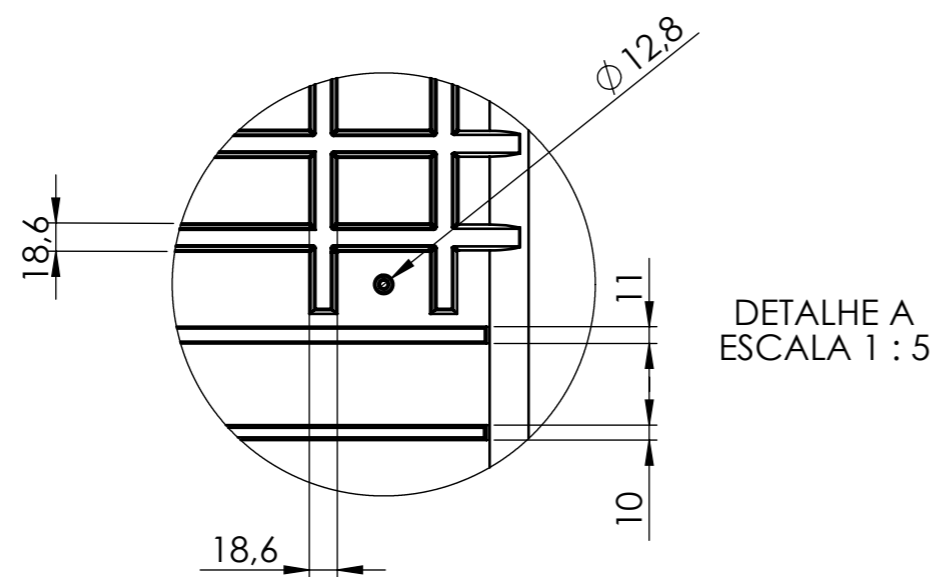
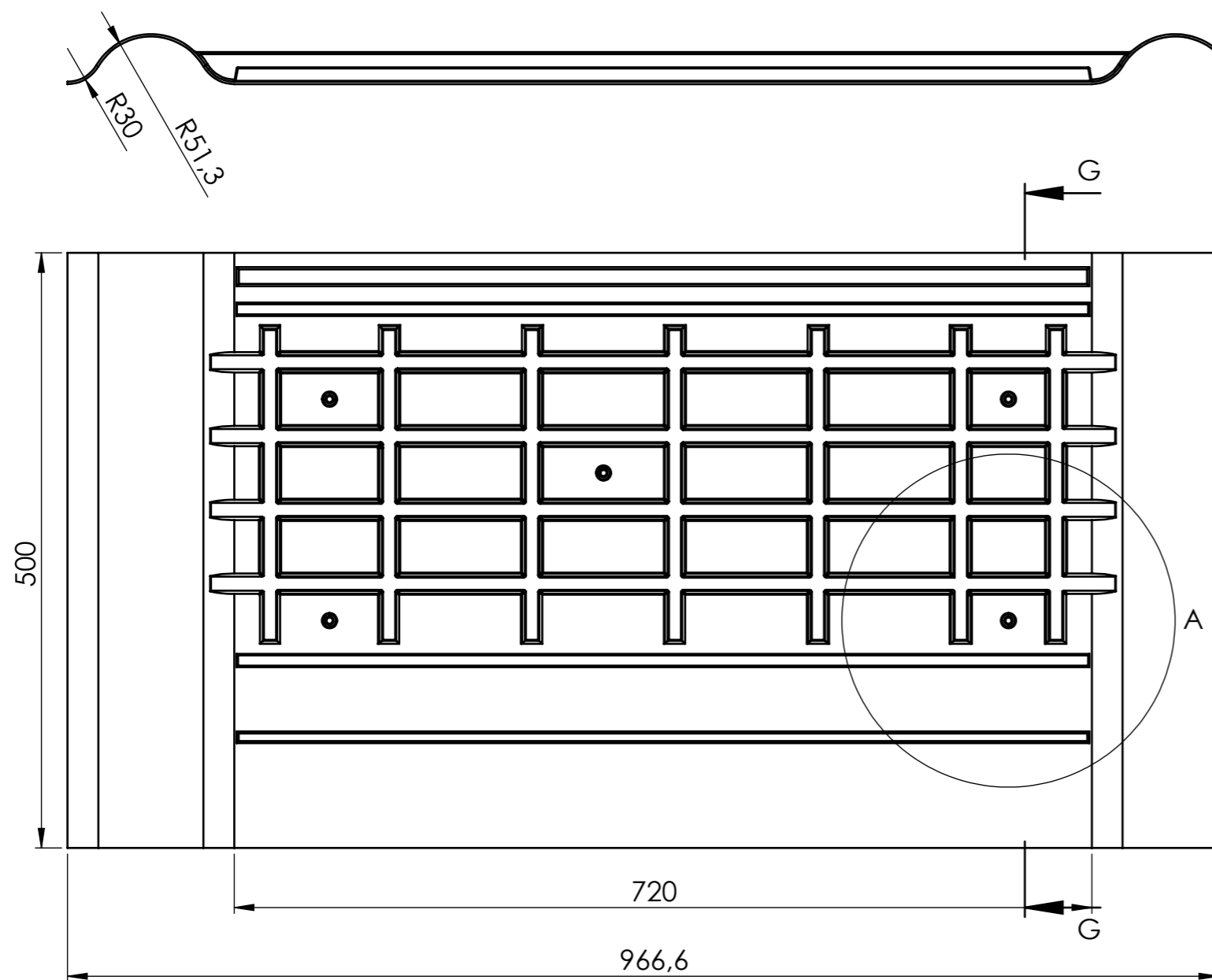
SILVA, B. **Telhados verdes em clima tropical: Uma nova técnica e seu potencial de atenuação térmica.** 2016. Tese (Doutorado) – Programa de Engenharia Civil, UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro, 2016.

Desenho técnico

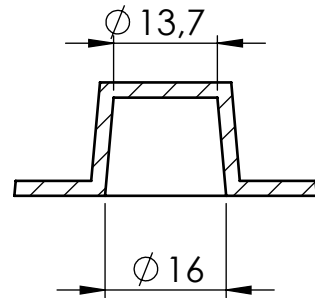
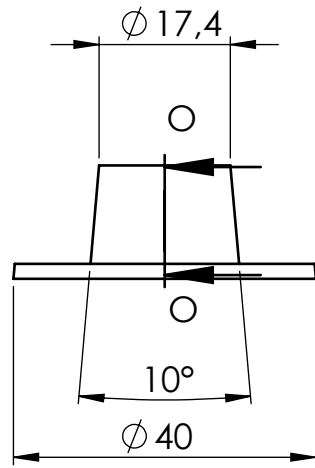


Parts List				
Item	Qty	Part Number	Description	Material
1	5	PINO CAP PVC		PVC
2	1	BIDIM v14	720 mm x 280 mm X 5 mm	FELTRO
3	1	PAINEL TERMOFORMADO	1000 mm x 500 mm x 2mm (espessura)	Fabric

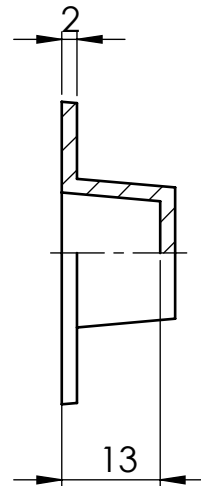
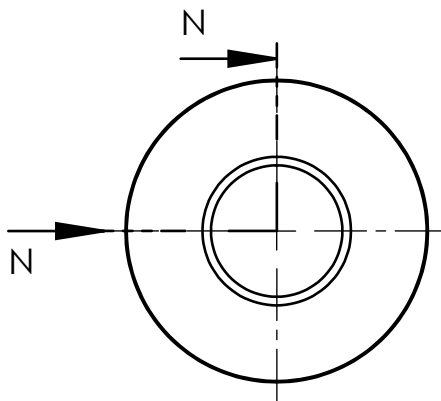
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO		
CLA - Escola de Belas Artes	Depto. de Desenho Industrial	
Curso de Desenho Industrial	Habilitação em Projeto de Produto	
Título do Projeto: TELHA VERTE	Peça:--	
	Conjunto: - -	
Autor: Aurélio M. Wijnands (DRE: 114122182)	Escala:	Diedro:
Orientador: Gerson Lessa	Cota: mm	1°
Data: 21/12/2018	Prancha	01



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO		
CLA - Escola de Belas Artes	Depto. de Desenho Industrial	
Curso de Desenho Industrial	Habilitação em Projeto de Produto	
TELHA VERTE	PAINEL	
	Subsistema: PAINEL	
Autor: AURÉLIO M. WIJNANDS (DRE: 114122182)	Escala: 1:5	Prancha 02
Orientador: Gerson Lessa	Diedro: 1°	
Data: 21/12/2018	Material: PVC	Cotas em mm



SEÇÃO O-O
ESCALA 1 : 1



SEÇÃO N-N
ESCALA 1 : 1

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

CLA - Escola de Belas Artes	Depto. de Desenho Industrial	
Curso de Desenho Industrial	Habilitação em Projeto de Produto	
TELHA VERTE	CAP	
	Subsistema: CAP	
Autor: AURÉLIO M. WIJNANDS (DRE: 114122182)	Escala: 1:1	Prancha 03
Orientador: Gerson Lessa	Diedro: 1°	
Data: 21/12/2018	Material: PVC	Cotas em mm