

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO**  
**CIVIL**

**PROTOCOLO PARA SELECIONAR ALTERNATIVAS DE PRODUTOS**  
**PARA INSTALAÇÕES PROVISÓRIAS DE CANTEIRO DE OBRAS**

**LUDIMILLA DE OLIVEIRA ZEULE**

SÃO CARLOS, SP

2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO  
CIVIL

**PROTOCOLO PARA SELECIONAR ALTERNATIVAS DE PRODUTOS  
PARA INSTALAÇÕES PROVISÓRIAS DE CANTEIRO DE OBRAS**

**Ludimilla de Oliveira Zeule**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade Federal de São Carlos como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Estruturas e Construção Civil

**Área de concentração:** Sistemas Construtivos

**Orientadora:** Profa. Dra. Sheyla Mara Baptista Serra

**Co-orientador:** Prof. Dr. José Manuel Cardoso Teixeira, Universidade do Minho

São Carlos, SP  
2018



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia  
Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil

---

**Folha de Aprovação**

---

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Tese de Doutorado da candidata Ludimilla de Oliveira Zeule, realizada em 27/09/2018:

A handwritten signature in blue ink, consisting of a series of loops and a horizontal line at the end.

---

Profa. Dra. Sheyla Mara Baptista Serra  
UFSCar

A handwritten signature in blue ink, featuring a large circular loop and several vertical strokes.

---

Prof. Dr. Jose Carlos Pallari  
UFSCar

A handwritten signature in blue ink, with a prominent horizontal stroke and several loops.

---

Profa. Dra. Vanessa Gomes da Silva  
UNICAMP

A handwritten signature in blue ink, with a large, sweeping loop and a vertical line.

---

Prof. Dr. Edvaldo Paulo Sichiari  
USP

A handwritten signature in blue ink, with a large loop and a vertical line.

---

Prof. Dr. Aldo Roberto Ometto  
USP

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, Deus, o responsável por tudo, que sempre esteve e está comigo.

À minha maravilhosa família, pais, irmãos e avós, que desde o início dessa trajetória sempre me deram apoio e força para continuar, sem sombra de dúvidas, vocês são a minha inspiração.

Não menos importante, e que agora é a minha família, ao meu querido esposo Plínio, que teve muita paciência e espera pelo dia que pudéssemos finalmente estar juntos.

À minha orientadora Sheyla Serra, eu não tenho palavras para agradecer, são muitas coisas, desde o mestrado sempre me apoiando nos momentos cruciais, obrigada, aprendi e aprendo muito com você.

Ao meu co-orientador José Teixeira, que me recebeu na Universidade do Minho em Portugal e trouxe mais brilho para esta pesquisa.

Aos colegas e professores do PPGE Civ, Solange Damha que sempre foi muito solícita comigo... mas em especial aos amigos que estão comigo desde o mestrado e jamais serão esquecidos Juliana, Adriana, Guilherme e Lais.

À Rosa Bogas, pela moradia e companhia, sempre serei grata.

À empresa construtora Rio Verde que sempre se disponibilizou para esclarecimentos e auxílio à presente pesquisa, possibilitando registro das situações observadas nos canteiros de obras.

À professora Léa Souza e os alunos do laboratório CONFEE - Laboratório de Conforto e Eficiência Energética do Ambiente Construído da UFSCar, que nos auxiliou na pesquisa e cedeu os equipamentos para medição do desempenho térmico nos protótipos de IPC.

Ao professor Eduvaldo Sichieri, que além das contribuições com a pesquisa nos permitiu usar equipamentos do Instituto de Arquitetura e Urbanismo da USP de São Carlos, assim agradeço também o técnico do laboratório de conforto Pedro Mattia.

À professora Vanessa Gomes, que contribuiu muito para o desenvolver da pesquisa.

A todos que contribuíram indiretamente para a ocorrência desta pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo financiamento da pesquisa no Brasil (bolsa CAPES DS), e financiamento pelo Processo: Programa de Doutorado Sanduíche no Exterior (PDSE) n. 88881.132517/2016-01.

À Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) pela oportunidade de participação no projeto em rede colaborativa “CANTECHIS – Tecnologias para Canteiro de Obras Sustentáveis de Habitação de Interesse Social” e auxílio financeiro à pesquisa.

Muito obrigada.

ZEULE, L. O. **Protocolo para selecionar alternativas de produto para instalações provisórias de canteiro de obras**. 2018. 205f. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2018.

## RESUMO

A sustentabilidade é tema amplamente abordado nos diversos setores da construção civil. No setor edificações, as práticas sustentáveis vêm conquistando grande interesse tanto no campo de pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias voltadas aos produtos, quanto nas aplicações práticas nos canteiros de obras. O desempenho das Instalações Provisórias de Canteiros de Obras (IPC) é um tema atual e importante, visto que grande parte das obras não se preocupam com a seleção adequada de materiais para estas instalações, comprometendo o seu uso seguro e funcional, além de grandes prejuízos aos usuários destas construções que são temporárias, mas abrigam trabalhadores por nove ou mais horas de jornada de trabalho. Tradicionalmente, a construção civil tem problemas com processos de tomadas de decisões, principalmente no que se refere à falta de critérios para seleção de materiais. Desta forma, este estudo propõe o emprego de um método de tomada de decisão - o *Choosing by Advantage* (CBA) para selecionar alternativas de produtos que impactem menos sob o ponto de vista da sustentabilidade. Como análise, adotou-se um componente bastante utilizado que são as coberturas leves (com cinco diferentes telhas) e os sistemas modulados contêineres (com três diferentes opções) utilizados como IPC. O método desta pesquisa propõe a concepção de um protocolo simplificado a ser seguido de forma a obter uma análise sobre o melhor tipo de telha e contêineres entre os analisados, segundo os parâmetros identificados como necessários para serem empregados nas instalações provisórias de canteiros de obras. Esta pesquisa avalia a aplicabilidade da metodologia *Multiple-Criteria Decision-Making* (MCDM) em ajudar as equipes de planejamento e de projeto de canteiro de obras a escolherem alternativas mais sustentáveis para IPC. Portanto, o método de tomada de decisão CBA demonstrou atender os aspectos de sustentabilidade e facilitar a comparação das alternativas conforme os fatores escolhidos. De forma genérica, espera-se que este trabalho colabore para ampliar o conhecimento sobre os métodos de tomada de decisão no setor da construção civil, auxiliando também na disseminação da sustentabilidade segundo uma visão sistêmica e embasada em informações técnicas.

**Palavras-chave:** Sustentabilidade. Construção civil. Método de tomada de decisão. *Choosing by Advantage*. Coberturas leves. Contêineres. Instalações Provisórias do Canteiro de Obras.

ZEULE, L. O. **Protocol for selecting alternative products for temporary construction site installations.** 2018. 205p. Thesis (PhD in Structures and Civil Construction) - Federal University of São Carlos, São Carlos, 2018.

## **ABSTRACT**

Sustainability is a topic widely addressed in the various sectors of civil construction. In the building sector, sustainable practices have been gaining great interest both in the field of research and development of new technologies aimed at products, and in practical applications at construction sites. The performance of the Provisional Construction Site Installations (IPC) is a current and important topic, since most works are not concerned with the proper selection of materials for these facilities, compromising their safe and functional use, in addition to great losses to the users of these constructions, which are temporary, but house workers for nine or more hours of workday. Traditionally, civil construction has problems with decision-making processes, especially with regard to the lack of criteria for selecting materials. Thus, this study proposes the use of a decision-making method - Choosing by Advantage (CBA) to select product alternatives that impact less from the point of view of sustainability. As an analysis, a widely used component was adopted, which are lightweight roofs (with five different tiles) and modular container systems (with three different options) used as IPC. The method of this research proposes the design of a simplified protocol to be followed in order to obtain an analysis on the best type of tile and containers among those analyzed, according to the parameters identified as necessary to be used in the temporary installations of construction sites. This research assesses the applicability of the Multiple-Criteria Decision-Making (MCDM) methodology in helping construction site planning and design teams to choose more sustainable alternatives to IPC. Therefore, the CBA decision-making method has demonstrated that it meets the sustainability aspects and facilitates the comparison of alternatives according to the factors chosen. In general, it is expected that this work will collaborate to expand knowledge about decision-making methods in the construction sector, also helping to disseminate sustainability according to a systemic view and based on technical information.

**Keys Words:** Sustainability. Civil construction. Multiple-Criteria Decision-Making. Choosing by Advantage. Lightweight cover (tiles). Container. Provisional Installations of Construction Site.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma do projeto normal.....	32
Figura 2 – Fluxogramade um projeto com produtos e materiais reaproveitados .....	32
Figura 3 – Hierarquia do <i>Analytic Hierarchy Process</i> (AHP) .....	49
Figura 4 – Etapas do método CBA para a fase de tomada de decisão .....	54
Figura 5 – Etapas do método CBA a ser seguida .....	55
Figura 6 – Componentes de uma instalação provisória pré-fabricada em madeira.....	60
Figura 7 – Instalações provisórias de chapas compensada de madeira .....	60
Figura 8 – Instalações provisórias de chapas metálicas .....	61
Figura 9 – Instalações Provisórias de chapas recicladas .....	62
Figura 10 – Instalações Provisórias em alvenaria .....	62
Figura 11 – Instalações provisórias em contêineres .....	63
Figura 12 – Instalações provisórias em polietileno reciclado.....	64
Figura 13 – Instalações provisórias em concreto celular autoclavado .....	65
Figura 14 – Etapas para garantir o desempenho dos sistemas com base na NBR 15.575.....	68
Figura 15 – Tipos de coberturas em IPC .....	71
Figura 16 – Tipos de coberturas em IPC(II).....	71
Figura 17 – Multicamadas das embalagens Longa Vida.....	72
Figura 18 – Processo de fabricação das telhas recicladas de PEBD .....	73
Figura 19 – Telha com conteúdo reciclado de polietileno-alumínio .....	74
Figura 20 – Telha natural ondulada em aço galvanizado .....	75
Figura 21 – Telha aço galvanizado trapezoidal termoacústica com EPS.....	76
Figura 22 – Telha fibrocimento ondulada .....	77
Figura 23 – Telha colonial em PVC .....	79
Figura 24 – Componentes de um módulo pré-fabricado de contêiner para uso em IPC.....	81
Figura 25 – Módulo tipo <i>Flat Pack</i> .....	82
Figura 26 – Contêiner marítimo .....	83
Figura 27 – Contêiner termoacústico .....	83
Figura 28 – Fluxograma das etapas da pesquisa .....	89
Figura 29 – Gráfico IofA x custo/m <sup>2</sup> .....	95
Figura 30 – Sequência CBA a ser seguida .....	99
Figura 31 – Zonas bioclimáticas brasileiras .....	110



Figura 32 – Esquema de representação do protótipo de IPC.....	115
Figura 33 – Materiais para construção dos cinco protótipos de IPC .....	116
Figura 34 – Construção dos cinco protótipos de IPC .....	116
Figura 35 – Situação real de construção dos cinco protótipos de IPC .....	117
Figura 36 – Construção de parede para sombreamento.....	117
Figura 37 – Parede de sombreamento para a IPC do extremo .....	118
Figura 38 – Visão do local de montagem dos cinco protótipos de IPC .....	118
Figura 39 – Data loggers HOBO .....	120
Figura 40 – Termômetro infravermelho FLUKE .....	121
Figura 41 – Local da estação metereológica na UFSCar.....	121
Figura 42 – Temperaturas externas máxima e mínima da cidade de São Carlos .....	122
Figura 43 – Registro de temperatura e umidade pelos equipamentos .....	123
Figura 44 – Transmissor de dados e tela de transferência.....	124
Figura 45 – Temperaturas externas máxima e mínima da cidade de São Carlos no inverno	129
Figura 46 – IofA versus custo/m <sup>2</sup> das telhas .....	140
Figura 47 – IofA versus custo de utilização das telhas.....	141
Figura 48 – Hierarquia adotada .....	142
Figura 49 – Hierarquia dos subcritérios .....	144
Figura 50 – IofA versus custo/m <sup>2</sup> para AHP em CBA .....	152
Figura 51 – IofA versus custo de utilização de AHP em CBA .....	153
Figura 52 – Divisões das regiões de Portugal e localização dos canteiros de obra visitados	156
Figura 53 – Contêineres tipo Flat Pack e contraplacado marítimo (canteiro 1).....	162
Figura 54 – Contêiner contraplacado marítimo para IPC (canteiro 1) .....	163
Figura 54 – Canteiro 2 com contêineres mistos contraplacado marítimo e <i>flat pack</i> .....	163
Figura 55 – Contêiner tipo Flat Pack (canteiro 3) .....	164
Figura 56 – Tipos de banheiros em contêineres .....	164
Figura 57 – Outras IPC - canteiro 3.....	164

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Referências em seleção de material de construção.....	37
Quadro 2 – Matriz AHP .....	50
Quadro 3 – Intensidade de importância da comparação AHP .....	50
Quadro 4 – Situações relevantes para os diferentes métodos de pesquisa .....	86
Quadro 5 – Resultado de aplicação do método CBA .....	93
Quadro 6 – Pesos dos fatores no estudo exploratório.....	94
Quadro 7 – IofA e valor das telhas .....	95
Quadro 8 – Exemplo de preenchimento dos atributos.....	104
Quadro 9 – Critérios e níveis de desempenho de coberturas quanto à transmitância térmica (U) .....	111
Quadro 10 – Critério de avaliação de desempenho para o verão .....	111
Quadro 11 – Critério de avaliação de desempenho para o inverno .....	112
Quadro 12 – Índice de transmitância térmica das cinco tipologias de telhas .....	119
Quadro 13 – Dados do levantamento térmico das IPC no verão.....	125
Quadro 14 – Média dos dados do solstício de verão .....	126
Quadro 15 – Níveis de desempenho obtido pelas coberturas leves para o verão.....	127
Quadro 16 – Dados do levantamento térmico das IPC no inverno .....	130
Quadro 17 – Média dos dados do solstício de inverno.....	131
Quadro 18 – Níveis de desempenho obtido pelas coberturas leves para o inverno.....	132
Quadro 19 – Protocolo do método CBA aplicado às telhas .....	136
Quadro 20 – Julgamento paritário aspectos telha com conteúdo reciclado Polietileno-alumínio .....	142
Quadro 21 – Julgamento paritário aspectos telha aço galvanizado ondulada .....	142
Quadro 22 – Julgamento paritário aspectos telha aço galvanizado trapezoidal termoacústica com EPS .....	143
Quadro 23 – Julgamento paritário aspectos telha fibrocimento .....	143
Quadro 24 – Julgamento paritário aspectos telha PVC .....	143
Quadro 25 – Valores de AHP aplicado às telhas.....	143
Quadro 26 – Valores de lâmbida máximo, índice de consistência e razão de consistência ..	145
Quadro 27 – Valores PML dos subcritérios em AHP .....	147
Quadro 28 – AHP aplicado em CBA com valores de PML .....	149

Quadro 29 – Comparação da classificação das “telhas” segundo os métodos utilizados para seleção do material .....	154
Quadro 30 – Características das zonas climáticas das regiões visitadas .....	157
Quadro 31 – Listagem de fatores relevantes para a seleção de contêineres .....	159
Quadro 32 – Quinze fatores relevantes para seleção do contêiner .....	161
Quadro 33 – Protocolo de seleção de contêineres de menor impacto para uso como instalações provisórias de canteiro.....	166
Quadro 34 – Proposição simplificada do protocolo geral de seleção de material para IPC..	170
Quadro 35 – Ponderação dos fatores CBA dada pelos tomadores de decisão .....	190
Quadro 36 – Matriz de comparação do fator custo de utilização das telhas .....	191
Quadro 37 – Intensidade de importância da comparação AHP (II) .....	192
Quadro 38 – Preferências dos tomadores de decisão para telha de fibrocimento .....	193
Quadro 39 – Preferências dos tomadores de decisão para telha de aço galvanizado termoacústica.....	194
Quadro 40 – Preferências dos tomadores de decisão para telha de aço galvanizado ondulada .....	195
Quadro 41 – Preferências dos tomadores de decisão para telha de PVC .....	196
Quadro 42 – Preferências dos tomadores de decisão para telha com conteúdo reciclado polietileno-alumínio .....	197
Quadro 43 – Julgamento paritário aspecto ambiental -critérios telha PVC .....	198
Quadro 44 – Julgamento paritário aspecto ambiental - critérios telha com conteúdo reciclado Polietileno-alumínio .....	198
Quadro 45 – Julgamento paritário aspecto ambiental - critérios telha fibrocimento.....	198
Quadro 46 – Julgamento paritário aspecto ambiental - critérios telha aço galvanizado ondulada .....	199
Quadro 47 – Julgamento paritário aspecto ambiental - critérios telha aço galvanizado trapezoidal termoacústica com EPS .....	199
Quadro 48 – Julgamento paritário aspecto social - critérios telha PVC.....	199
Quadro 49 – Julgamento paritário aspecto social - critérios telha com conteúdo reciclado Polietileno-alumínio .....	200
Quadro 50 – Julgamento paritário aspecto social - critérios telha fibrocimento .....	200
Quadro 51 – Julgamento paritário aspecto social - critérios telha aço galvanizado ondulada .....	200

Quadro 52 – Julgamento paritário aspecto social - critérios telha aço galvanizado trapezoidal termoacústica com EPS .....	200
Quadro 53 – Julgamento paritário aspecto econômico - critérios telha PVC.....	201
Quadro 54 – Julgamento paritário aspecto econômico - critérios telha com conteúdo reciclado Polietileno-alumínio .....	201
Quadro 55 – Julgamento paritário aspecto econômico - critérios telha fibrocimento.....	201
Quadro 56 – Julgamento paritário aspecto econômico - critérios telha aço galvanizado ondulada .....	201
Quadro 57 – Julgamento paritário aspecto econômico - critérios telha aço galvanizado trapezoidal termoacústica com EPS .....	202
Quadro 58 – Exemplo de matriz AHP para telha em polietileno-alumínio.....	202
Quadro 59 – Exemplo de matriz AHP para telha em polietileno-alumínio (II) .....	202
Quadro 60 – Exemplo de matriz normatizada para telha em polietileno-alumínio.....	203
Quadro 61 – PML da matriz AHP da telha em polietileno-alumínio .....	203
Quadro 62 – Índice Randômico Médio do AHP .....	204

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1 Justificativa.....	19
1.2 Contextualização .....	23
1.3 Problema de pesquisa .....	24
1.4 Hipótese de pesquisa .....	25
1.5 Objetivo da pesquisa.....	25
1.6 Delimitação da pesquisa .....	25
1.7 Estrutura dos capítulos .....	25
<b>2 SUSTENTABILIDADE E SELEÇÃO DOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO .....</b>	<b>27</b>
2.1 Material de construção.....	28
2.2 Reciclagem e reuso na construção civil.....	29
2.3 Características físico-químicas dos produtos reciclados .....	33
2.4 Seleção de materiais .....	35
<b>3 MÉTODOS DE TOMADA DE DECISÃO .....</b>	<b>43</b>
3.1 O processo de tomada de decisão .....	43
3.2 Metodologias Multicritérios .....	46
3.2.1 <i>Analytic Hierarchy Process (AHP)</i> .....	48
3.2.1.1 A escala de pontuação AHP .....	49
3.2.2 <i>Choosing by Advantage (CBA)</i> .....	51
3.2.2.1 Fases do CBA .....	54
<b>4 INSTALAÇÕES PROVISÓRIAS DO CANTEIRO .....</b>	<b>56</b>
4.1 Tipos de instalações provisórias de canteiro de obras .....	59
4.2 Legislação de segurança e saúde do trabalho nos canteiros de obra .....	66
4.3 A Norma de Desempenho de Edificações .....	67
4.4 Coberturas leves para IPC .....	70
4.4.1 Telha com conteúdo reciclado de polietileno-alumínio .....	72
4.4.2 Telha em aço galvanizado natural ondulada.....	74
4.4.3 Telha em Aço Galvanizado Trapezoidal Termoacústica com EPS .....	75
4.4.4 Telha de fibrocimento.....	76
4.4.5 Telha de PVC .....	78

4.5	Contêineres utilizados como IPC .....	79
4.5.1	Contêiner <i>Flat Pack</i> .....	82
4.5.2	Contêiner Marítimo .....	82
4.5.3	Contêiner Termoacústico.....	83
<b>5</b>	<b>MÉTODOS E TÉCNICAS .....</b>	<b>85</b>
5.1	Estratégias da pesquisa .....	85
5.2	Delineamento da pesquisa .....	88
5.3	O estudo exploratório das coberturas leves .....	91
5.3.1	Primeira aplicação de CBA com percepção da pesquisadora.....	92
5.4	Processo de adequação do CBA com suporte de AHP.....	96
5.5	Segunda aplicação de CBA com proposição de grupos de especialistas em tomada de decisão .....	99
5.6	Construção do método AHP com proposição de grupos de especialistas em tomada de decisão .....	106
5.7	Construção dos protótipos de IPC .....	107
5.8	Aplicação do protocolo para contêineres.....	108
<b>6</b>	<b>DETERMINAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DAS TELHAS .....</b>	<b>109</b>
6.1	O fator “desempenho térmico” das coberturas leves.....	109
6.2	Condições para projeto dos protótipos de IPC .....	112
6.3	Construção dos protótipos das IPC.....	114
6.4	Condições e equipamentos de medição .....	118
6.5	Medição da temperatura e umidade externa local .....	122
6.5.1	Medição do desempenho térmico das coberturas leves no verão brasileiro.....	124
6.5.2	Medição do desempenho térmico das coberturas leves no inverno brasileiro .....	128
<b>7</b>	<b>DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DO PROTOCOLO.....</b>	<b>134</b>
7.1	Processo de elaboração do Protocolo para seleção de coberturas leves .....	134
7.1.1	Grupo de tomadores de decisão.....	134
7.1.1.1	Grupo 1 - Identificação dos fatores .....	135
7.1.1.2	Grupo 2 - Ponderação dos fatores pelos profissionais de canteiro .....	135
7.1.2	Resultado do método CBA para as telhas .....	135
7.1.3	Resultado do método AHP para as telhas.....	141
7.1.4	Resultado de AHP pontuando em CBA para as telhas.....	147

7.1.5 Comparação entre os Métodos de Tomada de Decisão utilizados .....	153
7.2 Processo de elaboração do protocolo para seleção de contêineres .....	155
7.2.1 Condições dos canteiros de obra em Portugal .....	155
7.2.2 Construção do protocolo de seleção de componentes .....	158
7.2.3 Grupo de tomadores de decisão .....	158
7.2.4 Identificação dos fatores e ponderação .....	159
7.2.5 Aplicação do protolo de seleção em IPC tipo contêiner em Portugal .....	161
7.2.5.1 Estudos de caso em três obras .....	162
7.2.5.2 Resultado do método CBA para contêineres .....	165
7.3 Proposta geral de protocolo de seleção de material .....	169
<b>8 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>173</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>176</b>
<b>Apêndice A – Questionário com fabricantes .....</b>	<b>188</b>
<b>Apêndice B – Preferência dos decisores para o método CBA .....</b>	<b>189</b>
<b>Apêndice C – Questionário de preferência AHP .....</b>	<b>192</b>
<b>Apêndice D – Matrizes AHP para as telhas e Método de cálculo AHP – exemplo para cobertura leve de polietileno-alumínio .....</b>	<b>198</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil tem se destacado em relação à discussão e implantação da sustentabilidade em seus empreendimentos. Isso acontece, principalmente, devido à competitividade imposta pelo mercado, ao conhecimento e exigências dos usuários e a implementação de um conjunto de legislações que trazem essa necessidade para o setor. Os envolvidos vêm tentando incentivar e implementar práticas sustentáveis, como, por exemplo, a adoção e inserção dos programas de certificação, o uso de manuais de boas práticas e de guias de sustentabilidade no canteiro de obras.

Na Europa, os números da construção civil são crescentes e favoráveis, conforme demonstra *Office for National Statistics* (ONS, 2017) ao longo de 2014 a 2016, o Reino Unido, os Estados Unidos da América (EUA) e a União Europeia (EU) tiveram um crescimento globalmente positivo. O Reino Unido registrou um crescimento contínuo na construção, com exceção do terceiro trimestre (julho a setembro) de 2015. Entretanto, os EUA e a UE também registraram um crescimento positivo geral, com os EUA crescendo em dois trimestres ao longo dos dois anos (ONS, 2017).

As discussões sobre meio ambiente se iniciaram em 1972 com a Conferência de Estocolmo, que introduziu o conceito de desenvolvimento sustentável e que permitiu a discussão na Assembleia Geral da Organização das Nações Unidas (ONU), com a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente que deu origem no ano de 1987 ao documento *Our Common Future* (Nosso Futuro Comum) ou, como é conhecido, Relatório Brundtland, definindo o desenvolvimento como o processo que “satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades” (*World Commission on Environment and Development* (WCED), 1987). Nos dias atuais, considera-se que o compromisso da sustentabilidade vai além da auto sustentação de apenas uma atividade, ou de um processo independente, mas deve abranger o processo produtivo como um todo.

No caso dos materiais usados na construção civil, seria como acompanhar sua produção desde a extração da matéria-prima até a reciclagem e conhecer qual o verdadeiro impacto causado na extração até o fim de vida deste material (TORGAL e JALALI, 2010).

De acordo com Calkins (2009), a indústria da construção deveria buscar atender o objetivo imposto pelo desenvolvimento sustentável com algumas iniciativas, por exemplo, mudar o uso



dos recursos e combustíveis a partir da utilização de resíduos não renováveis por renováveis, o aproveitamento de resíduos para reuso e reciclagem, sobre a ênfase no custo inicial de ciclo de vida e custo total considerado, onde todos os custos tais como resíduos, emissões, poluição forem incorporados ao custo total do material.

Porém, não é simples mudar os conceitos e métodos antiquados que o setor da construção civil utiliza, e entende-se que a mudança de paradigmas causa desconforto para os que estão habituados às operações tradicionais, mas todo setor deve evoluir e acompanhar o desenvolvimento de tecnologias e métodos eficazes. Fatos estes qualificados pela adoção do *Lean Thinking* na construção civil e que desde os anos 90, onde Koskela (1992) corrobora que, na prática, as empresas procuram melhorias nas conversões, tornando-as mais eficientes ao invés de torná-las mais eficazes.

Além disso, existe a questão da sustentabilidade envolvida em todas as etapas do processo produtivo, visto que se tornou a preocupação com a sustentabilidade na indústria da construção alcançou abrangência e importância significativamente valorizada pelos consumidores. Neste âmbito, destaca-se a preocupação progressista com a adequada seleção de materiais que o setor da construção tem demonstrado. Jahan, Edwards e Bahraminasab (2012) acordam que “os materiais influenciam a função do produto, a satisfação do cliente, os sistemas de produção, o ciclo de vida do produto, a usabilidade, a personalidade do produto, o ambiente operacional e os custos de maneira complexa”, sendo a seleção adequada uma função crucial no projeto e desenvolvimento de produtos.

Torgal e Jalali (2010) destacam que para perceber a importância dos materiais de construção no contexto da construção sustentável, importa saber, desde o início, quais os impactos ambientais provocados pelas extrações das matérias-primas necessárias à sua produção. Além disso, e muito mais atual, como será o comportamento do material durante sua vida útil, quais os benefícios ou malefícios que pode trazer ao ambiente em que foi instalado, com o passar dos anos.

Bell e Morse (2008) concordam que o fato da sustentabilidade não se tornar uma realidade tão adotada, não diminuiu a popularidade do conceito. Pelo contrário, para esses autores, a flexibilidade resultante de várias boas práticas permitiram ao conceito alcançar a grandiosidade que tem atualmente. Continuando, esses autores, mencionam que os envolvidos no

desenvolvimento sustentável passaram a ter uma opinião individual no significado de sustentabilidade, e mantém as definições “na moda”, o que ajuda a reforçar sua popularidade.

Diante das questões e até “modismo”, há casos da inserção da palavra sustentabilidade em diversos setores industriais como estratégia de *marketing* para vender o seu produto, principalmente no setor da construção civil, que a partir dos programas de certificações ambientais cria-se um rótulo para a “construção verde” agregando maior valor nestes empreendimentos.

Para muitos autores, nota-se que a escolha dos materiais a serem utilizados nas construções, assim como o sistema construtivo, muitas vezes não é pensada no momento adequado, durante a fase de projeto. Isso pode acarretar problemas futuros de falta de detalhamento do projeto que irão se destacar na fase de execução, gerando retrabalhos, mais resíduos, mais tempo de obra e, conseqüentemente, maior custo.

Observa-se então que a atividade de projetar e decidir qual o material ou componente mais adequado torna-se complexa, propensa ao erro e à limitação do conhecimento do projetista. O setor da construção civil sempre enfrentou dificuldades com relação à tomada de decisão. De acordo com Abraham, Lepech e Haymaker (2013), isso se torna natural no setor, devido ao envolvimento de múltiplas partes interessadas que muitas vezes resultam em problemas de decisão com múltiplos objetivos.

Devido à grande variedade de materiais ou produtos diferenciados no mercado, torna-se necessário estabelecer métodos de análise que apoiem a tomada de decisão quanto ao material mais adequado para determinada situação ou uso, considerando os parâmetros próprios de cada projeto ou empreendimento. De acordo com Antoniazzi *et al.* (2013), é importante também a verificação das condições climáticas da região onde se ocorre a construção, pois os parâmetros de análise devem ser adequados para a região de forma a considerar suas características climáticas, sociais e culturais.

Outra questão marcante do setor são as restrições rigorosas de orçamento e prazo que os construtores e projetistas se deparam no processo de construção, e estas decisões, que muitas vezes implicam na seleção inadequada de materiais, tem impactos significativos na sustentabilidade da edificação em todo o seu ciclo de vida (UGWU e HAUPT, 2007).

A indústria da construção precisa de processos de decisão superiores aos existentes, relacionados à fase de planejamento, projeto e execução para poder acompanhar as novas tecnologias sem se tornar prejudicial ao tripé da sustentabilidade. Uma vez que os impactos referentes à etapa de execução (canteiro de obras) dos empreendimentos é uma das etapas de maior produção de resíduos e desperdícios de materiais, deve-se ter maior preocupação e interesse no campo das tomadas de decisões.

Segundo Godfaurd, Clements-Croome e Jeronimidis (2005), a seleção adequada de materiais de construção têm sido identificada como a maneira mais fácil dos projetistas começarem incorporar princípios sustentáveis em projetos de edificações.

Para expor a importância do canteiro de obras na implementação da sustentabilidade, Gehlen (2008) defende que dentre as etapas de um empreendimento, a execução deve ser foco das construtoras na busca por sucesso em suas responsabilidades sociais, ambientais, econômicas e culturais, que resultam na sustentabilidade aplicada nos canteiros de obras. A etapa de obras e o gerenciamento do canteiro correspondem a uma importante parcela do custo final e do impacto ambiental que interferem diretamente no ciclo de vida da edificação.

No caso do canteiro de obras as ações sustentáveis podem ser transformadas em boas práticas que organizem e facilitem as tarefas diárias, não agridam o meio em que estão inseridos, utilizem alternativas oferecidas gratuitamente (água de chuva, insolação, ventos, iluminação) em benefício das atividades a serem realizadas, e ainda, padronizem essas práticas para as obras seguintes (ZEULE, 2014).

O produto típico do canteiro de obras é composto por uma variedade de componentes, cada um com sua própria teia complexa de entradas, saídas, e os impactos que levou à sua existência (CALKINS, 2009). Destes diversos componentes têm-se os materiais de construção que podem ser feitos no próprio canteiro (argamassas, concretos, pasta de cimento) ou vindo de fábricas (tijolos, esquadrias, telhas, pisos).

Calkins (2009) define os materiais e produtos que reduzem o uso de recurso e impactos ambientais: não fazer uso de novos materiais (reutilizar o que tem disponível no canteiro), utilizar materiais duráveis, especificar materiais e produtos de conteúdo reciclado, utilizar materiais e produtos com potencial de reciclagem, usar materiais locais, especificar energia incorporada etc..

Assim, entendeu-se a importância da criação de um método para seleção de materiais para este tipo de construção temporária, que abrigam trabalhadores por longo período de tempo, propondo o uso de um método de tomada de decisão *Choosing by Advantage* (CBA) para estudo e seleção das coberturas leves, largamente utilizada nas instalações provisórias e que influem diretamente no conforto e saúde dos usuários.

Este estudo fundamenta-se em pesquisas realizadas, as quais pode-se citar os autores Suhr (1999); Parrish e Tommelein (2009); Lee, Tommelein e Ballard (2010); Haymaker, Chau e Xie (2013); Arroyo, Tommelein e Ballard (2015); Arroyo, Tommelein e Ballard (2016); Correa *et al.* (2017); Kpramma *et al.*(2017); Schöttle, Arroyo e Haas Georgiev (2017); Arroyo e Molinos-Senante (2018). Esses autores destacam o processo de tomada de decisões como método importante na cadeia da construção e utilizam o *Choosing by Advantage* (CBA) para oferecer ferramentas que suportam a criação da transparência e ambiente colaborativo para tomar decisões.

## **1.1 Justificativa**

Um dos mais importantes setores da economia, a construção civil é essencial ao desenvolvimento do país, sendo responsável por mais de 2,327 milhões de empregos diretos e indiretos, de acordo com pesquisa do Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo (SINDUSCON-SP) e Fundação Getúlio Vargas (FGV) (AEC web, 2018), isso representa 8% do Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil (BRASIL, 2018).

Em contrapartida, o setor se caracteriza como um dos que mais consomem recursos naturais desde a produção dos insumos utilizados até a execução da obra e sua operação ao longo de décadas, no Brasil apropria-se de 75% do que é extraído do meio ambiente (AEC web, 2018), utilizando cerca de 60% de toda a madeira extraída, 15% da água potável (Câmara Brasileira da Indústria e Construção (CBIC), 2012) e 40% da energia mundial consumida (CITADIN, 2017). Dados como estes e outros que são bem conhecidos, como a alta geração de resíduos sólidos, emissões de CO<sub>2</sub>, alterações da paisagem natural, entre tantos outros que o setor da construção promove.

Segundo Scillag citada por Citadin (2017) com o uso racional de recursos no setor da construção é possível reduzir entre 30% e 40% o consumo de energia e de água e esta é uma das maiores oportunidades para o combate às mudanças climáticas.

Levando em consideração que boa parte dos impactos ambientais, econômicos e sociais que podem ser evitados está associada à fase de construção, o desenvolvimento de novas tecnologias é essencial para minimizar os impactos causados pelo setor da construção. Passuelo *et al.* (2014) concordam que:

uma melhor gestão dos materiais de construção implica uma grande melhoria na pegada ecológica e de carbono da construção civil e na redução global de consumo de recursos naturais e de impactos associados à produção desses produtos.

A implementação de práticas sustentáveis em canteiros de obras, como uso de produtos/materiais reciclados, reuso de água de chuva, uso de energias renováveis, reaproveitamento de materiais, deve ser seguida do conhecimento sistêmico do ciclo produtivo. Apesar de grande parte dos programas de certificação ambiental pontuarem tais práticas em seus *checklists*, ainda há deficiências no controle da atividade completa. Como exemplo disto, pode-se citar a falta de critérios para seleção de materiais empregados, Jahan, Edwards e Bahraminasab (2012) sugerem que a escolha dos materiais tem implicações ao longo do ciclo de vida de um produto, influenciando muitos aspectos do desempenho econômico e ambiental.

Dentro do cenário da construção civil, existe o canteiro de obras, podendo ser dado como exemplo de seleção inadequada de materiais, ou seja, os materiais que são empregados nas Instalações Provisórias do Canteiro (IPC) que, muitas vezes, são materiais de baixa qualidade e de composição desconhecida, comprometendo o seu uso seguro e funcional, além de grandes prejuízos aos usuários destas construções, que são temporárias, mas abrigam trabalhadores por nove ou mais horas de jornada de trabalho.

Arslan e Cosgun (2008) verificaram que, para melhorar o desempenho das instalações temporárias, a indústria começou a explorar os aspectos ambientais das construções ao longo das suas fases de existência no local. Apesar da frequência com que estes tipos de edificações são construídos durante a execução dos empreendimentos na construção civil, não se encontram muitos estudos voltados para o desenvolvimento sustentável do processo de projeto deste elemento de obra. Assim, torna-se importante aplicar o método desta pesquisa para estudo de um componente largamente utilizado nas instalações provisórias: as telhas para cobertura leve das IPC.

Como justificativa para escolha da análise do componente “telha”, a norma de desempenho em edificações expõe que a parte da habitação mais exposta à radiação direta do sol é o sistema de cobertura (Associação Brasileira de Norma Técnica (ABNT), 2013b). Esta norma também cita os critérios de desempenho que os sistemas de coberturas necessitam para satisfazer aos requisitos estruturais, de manutenção e de conforto aos usuários.

Poderiam ser buscadas mais justificativas técnicas, como a apresentada por Salado (2011) que propõe a avaliação de desempenho técnico de construção de painéis de vedação com tubos de papelão. Para essa autora, o papelão é um ótimo material utilizado na construção civil em diversos países, podendo ser empregado em construções permanentes ou temporárias, assim como em todos os elementos de uma edificação desde a fundação até a cobertura. Na análise do estudo de Salado (2011), observa-se a possibilidade de novas tecnologias aplicadas aos materiais e produtos de IPC, necessitando de parâmetros para sua aplicação na construção civil. No caso dos produtos que passaram por processos de reciclagem de materiais, no qual é dado destaque nesse estudo, muitas vezes há uma carência das especificações destes materiais, os classificando como menos duráveis ou menos resistentes.

De acordo com Ângulo, Zordan e John (2001), uma das causas possíveis deste receio é que o público consumidor leigo associe o produto reciclado a produto de baixa qualidade. Ou seja, percebe-se um certo “preconceito” em relação à utilização desses materiais no Brasil, sendo que os autores citados anteriormente concordam que esta dúvida somente pode ser resolvida por meio de pesquisa de mercado.

Este “preconceito” deveria ser repensado, em meio a tantos materiais reciclados que têm se destacado no mercado da construção. Conforme Medina (2005), as aplicações de materiais reciclados são diversas e crescentes, devido tanto ao desenvolvimento de novos materiais quanto ao melhoramento dos produtos existentes.

Porém, muitas vezes é desconhecida a composição de produto/material reciclado a partir de outros, e este acaba por ser o grande problema na seleção de materiais ditos sustentáveis.

De acordo com Torgal e Jalali (2010), além da necessidade de minimização de extração de matérias-primas não renováveis, outra questão importante de se considerar são as escolhas dos materiais de construção buscando sempre privilegiar de acordo com os autores:

- Materiais não tóxicos;
- Com baixa energia incorporada;
- Recicláveis;
- Que possam permitir o reaproveitamento de resíduos de outras indústrias;
- Que provenham de fontes renováveis;
- Que estejam associados à baixa emissão de gases de efeito estufa (GEE);
- Duráveis;
- Que seja levado em consideração analisar seu ciclo de vida.

Segundo Medina (2006), os materiais são a base constitutiva de todos os produtos industriais; sua seleção nos projetos dos produtos condiciona o nível dos impactos ambientais que os mesmos terão ao longo de sua vida. Eles emprestam suas funções e características aos produtos, tornando-os “ecológicos”. Para esse autor, os produtos “ecológicos” podem ser classificados segundo seus materiais constitutivos em: recicláveis, biodegradáveis e verdes (os que utilizam matéria-prima vegetal).

Pode-se observar que existe uma diversidade de critérios para a seleção de materiais, além de diferentes métodos que apoiam o processo de decisão, assim sendo importante a abordagem deste estudo, principalmente no contexto das instalações provisórias do canteiro de obras que normalmente são feitas com materiais sem seleção prévia, mas que são locais de extrema importância aos trabalhadores do canteiro.

A aplicação da metodologia da tomada de decisão no gerenciamento no ramo da construção civil tem demonstrado resultados efetivos e duradouros nos mais diversos tipos de projetos, porém, muitas construtoras ainda resistem à mudança nos seus procedimentos internos.

Em meio ao vasto e crescente mercado de produtos reciclados, híbridos, e tradicionais da indústria da construção, para serem empregados nas IPC que são projetadas para a permanência prolongada de pessoas pelo período de trabalho diário, cerca de nove horas, entendeu-se que a seleção de materiais deve ser formalizada e criteriosa.

Verificou-se a complexidade das decisões a serem tomadas pelo projetista. Por isso, torna-se necessária a utilização de métodos de análise multicritério que, de acordo com Hoppen (1997), embasem a tomada de decisão de forma a estabelecer antecipadamente os critérios de avaliação, as alternativas e as ações possíveis dentro de uma das atividades a ser realizada dentro da

empresa. Portanto, para esse autor, este é um método sólido pelo qual as empresas buscam procedimentos de melhorias no sistema gerencial e no produto gerado.

Existe uma diversidade de métodos de decisão que foram utilizados na análise da sustentabilidade voltada para a construção civil – *Analytic Hierarchy Process* (AHP) (SAATY, 1990), *Analytic Network Process* (ANP) (SAATY, 2004), *Multi-Attribute Utility Theory* (MAUT) (RODRIGUEZ, COSTA e DO CARMO, 2013), *Fuzzy* (SILVA, AMARAL e SILVA, 2014), *Elimination and Choice Translating Algorithm* (ELECTRE) (SZAJUBOCK, ALENCAR e ALMEIDA, 2006). Entre os métodos estudados, destaca-se o método *Choosing by Advantage* (CBA), que considera o parâmetro do custo/preço, tão valorizado no mercado brasileiro, para apoiar o processo de tomada de decisão. Apesar da utilização deste método em outros países, não se observou a aplicação do mesmo na realidade brasileira, caracterizando-se uma lacuna no conhecimento técnico-científico. Além disso, verificou-se que o AHP é disseminado academicamente, em várias áreas de pesquisa, e optou-se, nesta pesquisa, por sua utilização na comparação com o método CBA.

Espera-se demonstrar que o método de tomada de decisões poderá ajudar a solucionar os problemas de seleção de materiais para IPC, por sua fácil aplicação dos conceitos de construção enxuta, onde as decisões são tomadas em conjunto, baseada em fatores relevantes e transparência, e assim, alcançar os objetivos propostos nesta pesquisa.

Trata-se de um tema atual e relevante para qualquer profissional da construção civil, favorecendo que cada vez mais estudos sejam realizados a esse respeito. Espera-se também com esta pesquisa, colaborar para a conscientização dos profissionais e para a disseminação da importância da sustentabilidade no setor. Entende-se que haverá ganho potencial no processo produtivo ao se estudar a viabilidade no emprego de materiais sustentáveis, não somente em relação aos dados obtidos de determinado componente, mas também na forma de contribuição para que a indústria da construção civil venha se desenvolver de maneira correta e mais sustentável.

## **1.2 Contextualização**

Este trabalho de pesquisa fez parte do projeto em rede colaborativa apoiada pela agência Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) denominada “CANTECHIS – Tecnologias para Canteiro de Obras Sustentáveis de Habitação de Interesse Social”, executado pelas instituições:



Universidade de São Paulo (USP), Universidade Federal da Bahia (UFBA), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).

O projeto da rede foi formado por vários subprojetos, entre eles o de “Instalações Provisórias em Soluções Tecnológicas Sustentáveis para Instalações Provisórias de Canteiros de Obras de EHIS” (SPIPC), que visou propor diretrizes e gerar documento com as práticas e recomendações de sustentabilidade ambiental e melhoria das condições de trabalho em área de vivência para uso administrativo em canteiros, com considerável conforto e sustentabilidade.

Além disso, devido à participação da pesquisadora no Programa Doutorado Sanduíche no Exterior (PDSE) financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), foi possível a realização de parte da pesquisa em Portugal, para aplicação do protocolo de seleção de materiais proposto para telhas das IPC em Portugal. Porém, a realidade das IPC neste país é totalmente diferente do Brasil; na maioria das vezes, são utilizados módulos, tipo contêineres fabricados especificamente para isso.

Esse trabalho se enquadra no contexto do projeto citado, vislumbrando o potencial de continuidade das pesquisas no Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e também no setor da construção civil.

### **1.3 Problema de pesquisa**

O problema desta pesquisa está em responder às seguintes questões:

- Há preocupação com a seleção de materiais para instalações provisórias do canteiro de obras?
- O método de tomada de decisão estudado (CBA) é eficaz para o processo de selecionar materiais sustentáveis?
- É economicamente viável investir em um produto “sustentável”, ou seja, com conteúdo reciclado que normalmente é mais caro que outros, para instalações provisórias de canteiros de obras?
- É possível aplicar o método proposto para apoio da decisão em outros lugares e para outros tipos de materiais?

#### **1.4 Hipótese de pesquisa**

A seleção de materiais baseada na metodologia multicritérios para selecionar a melhor cobertura leve (telha)/contêineres é viável de ser empregada em IPC causando menores impactos sociais, ambientais e econômicos.

#### **1.5 Objetivo da pesquisa**

O objetivo geral desta pesquisa é a propor um protocolo para seleção de alternativas de produtos de construção para uso em instalações provisórias por meio de um método simplificado para tomada de decisão.

Os objetivos específicos podem ser considerados:

- Identificar diferentes tipologias de telhas utilizadas na construção civil para a cobertura das instalações provisórias de canteiros;
- Comparar o desempenho térmico de telhas diferentes para saber qual atende melhor aos critérios sugeridos pela metodologia empregada;
- Comparar o resultados obtidos por meio das duas metodologias de seleção de materiais: o CBA e o AHP;
- Aplicar o método proposto para contêineres utilizados como IPC em Portugal.

#### **1.6 Delimitação da pesquisa**

Neste contexto, este estudo limita-se a analisar a aplicação de um protocolo para selecionar a melhor opção de cobertura leve e também contêineres passível de aplicação em Instalações Provisórias do Canteiro (IPC).

A escolha da tipologia das telhas para aplicação do método buscou diferentes tipos para efeito de comparação, que é incitado pela metodologia multicritérios. O principal critério de escolha das telhas foi a disponibilidade das mesmas na região da pesquisa, além da facilidade de contato com os fabricantes e disposição para a colaboração.

#### **1.7 Estrutura dos capítulos**

O capítulo 1 introduz o assunto da sustentabilidade na construção civil e contextualiza a problemática da falta de critérios para seleção de materiais para IPC e, conseqüentemente a lacuna que o estudo preenche. Ressalta a importância de um método de tomada de decisão que

seja específico para as condições da construção civil, que surgiu no contexto da *lean construction* e que ainda não há estudo nos Brasil que utilizem do método proposto CBA.

O capítulo 2 aborda as questões dos materiais reciclados, recicláveis, perigosos com emissão de Composto Orgânicos Voláteis (COV), entre outros tipos, e contextualiza a questão da seleção adequada de materiais.

O capítulo 3 é específico sobre métodos multicritérios mais utilizados no setor da construção, dando destaque aos dois métodos escolhidos para uso nesta pesquisa, AHP e CBA.

O capítulo 4 exhibe o cenário das IPC, legislações, desempenho, e os tipos de coberturas leves utilizado nesta pesquisa. Além disso, fala também dos contêineres utilizados como IPC em Portugal, que foi a pesquisa do Programa Doutorado Sanduíche no Exterior (PDSE) realizada pela pesquisadora no ano de 2017 por quatro meses.

O capítulo 5 expõe o método e as estratégias de pesquisa utilizadas, como foi o passo a passo da pesquisa, primeira aplicação do método CBA em um estudo exploratório e as adequações realizadas no método após a qualificação.

O capítulo 6 apresenta os condicionantes de projeto e a construção dos protótipos das instalações provisórias visando a realização de experimentos e a medição do desempenho térmico das diferentes telhas.

O capítulo 7 apresenta o detalhamento do protocolo para seleção de telhas de menor impacto em IPC a partir da aplicação de dois métodos multicritérios CBA e AHP, e suas combinações. Em seguida, faz a aplicação do protocolo para seleção de contêineres utilizados como IPC em Portugal. Após validação, apresenta a proposta do protocolo e orientações.

O capítulo 8 exhibe as considerações finais dos resultados obtidos em relação às IPC e aplicação dos métodos multicritérios para seleção de material e componentes.

Por fim, são apresentadas as referências bibliográficas consultadas e os apêndices gerados durante o desenvolvimento da pesquisa.

## 2 SUSTENTABILIDADE E SELEÇÃO DOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

Como a sustentabilidade pode ter um amplo espectro de adoção na construção civil e como o foco desta pesquisa é amparar o processo de decisão em relação à escolha de diferentes tipos de materiais, torna-se necessário discutir estes aspectos relacionados com os materiais de construção.

Qualquer escolha de um material tem efeitos ambientais, sociais e econômicos. Socialmente, ele pode afetar a qualidade ambiental interna dos usuários (envolvendo luz, acústica, a qualidade do ar e conforto térmico) afetando assim a qualidade da interação humana com o edifício. Ambientalmente, pode contribuir com as emissões de carbono, a produção de resíduos do edifício etc.. Economicamente, isso pode afetar o custo, custo de manutenção, expectativa de vida, o custo de reposição, a sequência de construção, entre outros. Em contraste com os edifícios tradicionais, projetos sustentáveis têm mais intervenientes e mais fatores envolvidos na escolha de materiais (ARROYO, TOMMELEIN e BALLARD, 2015).

Uma das principais questões a serem repensadas no setor da construção civil é o processo produtivo utilizado na construção pode não ter acompanhado as inovações do setor, bem como não considerar adequadamente as características dos recursos materiais para uso sustentável. É preciso utilizar de tecnologias e materiais que reduzam o consumo de energia, de recursos naturais e que diminuam o impacto no meio ambiente, assim como dito por Ruiz (2015),

diferente de outras indústrias, a construção não incorporou inovações ao seu processo e continua utilizando as mesmas técnicas há décadas, sendo que o método construtivo atual consome mais de 40% da energia produzida globalmente e contribui em 30% com a emissão de gases de efeito estufa, tornando-se o setor que mais consome recursos naturais e utiliza energia de forma intensiva.

Este capítulo busca sintetizar a importância da sustentabilidade dos materiais de construção, dando destaque ao uso de materiais recicláveis e ao reuso de componentes e elementos no processo construtivo. Espera-se, com isso, apresentar os elementos principais que serão a base para identificação dos parâmetros de análise dos produtos a serem comparados.

## 2.1 Material de construção

A Norma Brasileira (NBR) que “fixa as bases, nomenclatura e definições para um sistema” construtivo expõe uma definição vaga do termo, definindo os materiais de construção como “todo produto, natural ou elaborado, que se emprega na construção” (ABNT, 1977).

A Agenda 21 para a Construção Sustentável descreve algumas das características que devem ser perseguidas para que as edificações se tornem menos agressivas ao meio ambiente, entre elas a observação dos impactos causados pelos materiais de construção, a redução da utilização destes materiais, assim como capacidade de reutilização e reciclagem, e redução do conteúdo energético destes (BRASIL, 2016).

Por vezes, poderia ser discutida também a questão da desconstrução do edifício e o reuso dos componentes e materiais. Construir de forma sustentável significa aplicar os princípios de desenvolvimento sustentável ao ciclo da construção, desde a extração e beneficiamento das matérias-primas, passando pelo planejamento, projeto e construção de edificações e infraestrutura, até a sua desmontagem e gerenciamento dos resíduos resultantes (DORSTHORST e HENDRIKS, 2000).

No entanto, a Agenda 21 para a Construção Sustentável nos Países em Desenvolvimento (DORSTHORST e HENDRIKS, 2000) cita como barreiras para a construção sustentável nos países em desenvolvimento a falta de dados precisos e a falta de informações. Uma das dificuldades destacadas é a carência de dados a respeito do impacto dos materiais ao longo do seu ciclo de vida, dificultando a obtenção de processos e políticas sustentáveis (MANFREDINI e SATTLER, 2005).

O reaproveitamento de materiais, seja através da reciclagem ou do reuso, prolonga o ciclo de vida dos materiais, propondo uma forma de poupar recursos naturais não renováveis, e melhora a relação da construção com o meio ambiente. Segundo John *et al.* (2001), é importante que os novos produtos sejam facilmente recicláveis após o fim de sua vida útil, e também que se aumente a durabilidade destes, como opção para desvincular o consumo do desenvolvimento e reduzir as cargas ambientais.

Assim, a etapa de tomada de decisão e seleção de materiais torna-se muito importante, uma vez que baliza ações e situações futuras para seu reuso e reciclagem. As escolhas de materiais a serem usados nas construções deveria ser uma ação que necessita olhar para o conjunto de todas

as partes envolvidas no processo de construção e, principalmente, que seja considerada a vida útil, de forma que os materiais selecionados cumpram com que o usuário espera.

## **2.2 Reciclagem e reuso na construção civil**

Conforme Medina (2005), recuperar e reinserir produtos reciclados no sistema produtivo valoriza a energia e o trabalho neles contidos. Mas, por outro lado, exige um monitoramento constante da fabricação dos materiais e seus processos de produção e tratamento, para fazer com que as técnicas de reciclagem acompanhem o desenvolvimento dos materiais que vêm adquirindo uma complexidade tecnológica crescente.

Torgal e Jalali (2007) acreditam que os materiais recicláveis apresentam vantagens ambientais óbvias, pelo fato de esgotada a sua vida útil poderem vir a gerar outros materiais. Se optar pela reciclagem de produtos, em vez da extração ou do fabrico de materiais a partir de novas matérias-primas, pode-se reduzir o impacto negativo ambiental.

Portanto, para que a gestão sustentável da produção de materiais seja bem realizada são necessárias informações em todos os níveis da cadeia de produção e consumo, como: técnicas de extração, processos de transformação para produção de materiais, fabricação de peças e componentes, reciclagem, reuso ou descarte final, incluindo em todas as fases, a verificação do consumo de energia e de materiais, dos custos de transporte e de armazenamento.

No Brasil, não existe norma específica para utilização de produtos ou materiais reciclados. Na construção civil existem normas referentes à utilização de resíduos sólidos da construção para ser utilizado como agregado em base e sub-base de pavimentações e concreto sem função estrutural (ABNT, 2004a) (ABNT, 2004b).

Existem também iniciativas empresariais em apresentar oportunidade de logística reversa para os seus resíduos, atitudes que de certa forma fazem a diferença. Um exemplo disso é a rede de supermercados Walmart Brasil que desde 2005 criou seu próprio programa de sustentabilidade englobando os setores de Produtos, Clima e Energia, Resíduos (WALMART BRASIL, 2010). O projeto dessa rede de supermercados é denominado Produtos *End-to-End*, na tradução livre: “Sustentabilidade de Ponta a Ponta”. Segundo a empresa, tal iniciativa foi baseada no conhecimento de que algumas marcas inseriram em seus produtos componentes reciclados, como uso de matéria-prima certificada pelo Conselho Brasileiro de Manejo Florestal (FSC Brasil) e pelo Programa Brasileiro de Certificação Florestal (CERFLOR) na produção das

caixas de papelão dos produtos finais. Com isso, foi possível a redução nas emissões de gases de efeito estufa, e Compostos Orgânicos Voláteis (COV) com o uso de tinta de impressão de baixo COV, entre outras alternativas (WALMART BRASIL, 2010).

A chamada “eco-concepção” ou “eco-design” de produtos industriais buscam atender não só a demanda de um mercado consumidor mais consciente e responsável em termos ambientais, mas também, e principalmente, para atender a uma legislação ambiental cada vez mais restrita e globalizada (MEDINA, 2005). Nesse sentido um bom exemplo de implementação normativa, porém, fora do contexto da construção civil, são os casos das Diretivas da Comissão Europeia sobre Meio Ambiente em relação às Embalagens (PARLAMENTO EUROPEU, 2018) e Descarte de Equipamentos e Eletro-eletrônicos (PARLAMENTO EUROPEU, 2012).

Nos últimos anos, tem havido uma tendência crescente na utilização de materiais compósitos principalmente nas indústrias aeroespaciais e de transporte. Em comparação aos materiais tradicionais, os compósitos oferecem maior força para proporções em peso, propriedades não corrosivas, estabilidade dimensional e conformidade (MILANI *et al.*, 2011). No tocante aos materiais de construção civil, Kats, Braman e James (2010) consideram que nos Estados Unidos os Resíduos de Construção Civil (RCC) de edificações são uma das maiores fontes de geração de resíduos. Para esses autores, a reciclagem dos RCC cria novos empregos, reduz a quantidade dos mesmos nos aterros, reduz o uso de matéria-prima primária na construção, redirecionando para novas utilizações uma média de 79% de RCC que seriam descartados.

Uma forma de reduzir RCC é a reutilização destes resíduos através da reciclagem ou incorporação de materiais que seriam descartados em substituição a materiais não renováveis. Existem diversos estudos com diferentes tipos de compósitos, reciclados, incorporados a um material já existente ou então criando um novo tipo, principalmente, para produção de concreto e argamassa.

Pode-se citar o exemplo do estudo de Almeida *et al.* (2015) que analisaram o efeito da aplicação de resíduos na produção de argamassa, substituindo o agregado natural areia pelo teor de 30% de cinza do bagaço da cana-de-açúcar. Os autores encontraram uma melhoria na durabilidade das argamassas quando comparada à mistura referência (sem o resíduo) e manutenção das propriedades mecânicas.

Pinheiro, Matthiesen e Akasaki (2015) inseriram o resíduo de pneus (borracha) em vigas mistas de madeira e concreto para aplicação em pontes com intenção de conferir vantagens como melhor absorção de impacto, menor fissuração, menor absorção de água, além de destinação aos resíduos de pneus produzidos em grande quantidade pela indústria automotiva.

Beraldo, Shiroma e Ferreira (2015) avaliaram o comportamento físico-mecânico do compósito de cimento Portland adicionado de resíduos de isoladores de porcelana originários do descarte da empresa CPFL Energia, e de resíduos de Pinus, provenientes de uma fábrica de paletes.

Giocondo (2008) utilizou a escória de aciaria na produção de blocos intertravados para execução de alvenaria. A escória por ser um subproduto do aço, é uma matéria-prima abundante e de baixo custo, tornando o bloco de escória economicamente viável e competitivo no mercado.

Cunha (2011) apresenta um estudo da caracterização de placas recicladas provenientes de Embalagens Longa Vida para uso na construção civil como componente arquitetônico. Entretanto, esta autora percebeu que há dificuldade de aceitação do novo produto pelos usuários e pouca variedade na concepção, portanto a pesquisa visou expor as possibilidades iniciais de incorporação do material.

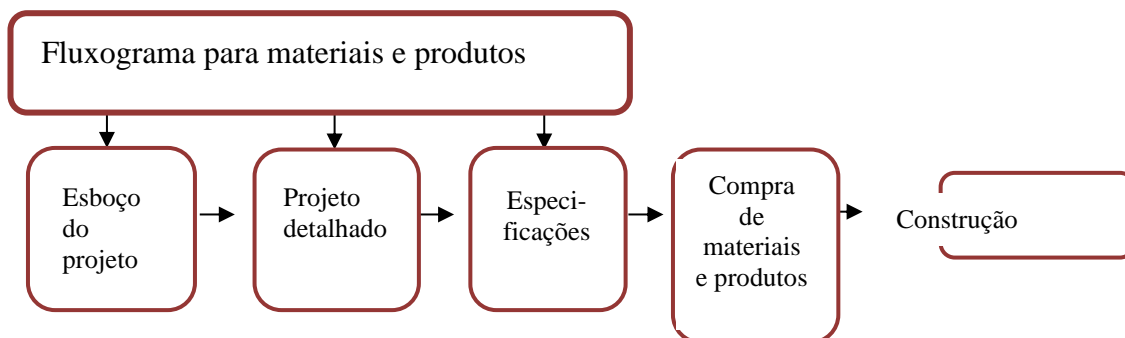
Há uma gama de materiais como tijolos, telhas, pavimentações, paredes divisórias, chapas de compensado, entre tantos outros materiais que podem ser produzidos a partir de reciclagem ou reutilização de outros tipos de produtos.

Assim, nota-se que os materiais e produtos reciclados necessitam de uma abordagem para incorporação adequada. Addis (2010) diferencia esta abordagem por meio de dois tipos de projeto: o projeto normal e o projeto com produtos e materiais reaproveitados como ilustrado nas Figuras 1 e 2, apresentadas a seguir.

Os produtos de construção com conteúdo reciclado (PCCR) são bons produtos, feitos por fabricantes e fornecedores que fazem os seus produtos no mesmo nível de produtos fabricados com matérias-primas virgens (ADDIS, 2010). Dessa forma, pode-se colocar as vantagens de comprar produtos reciclados de uma forma simplificada, pois o consumidor costuma apenas julgar a relação entre o custo, desempenho e garantia de um item recondicionado e um item novo.

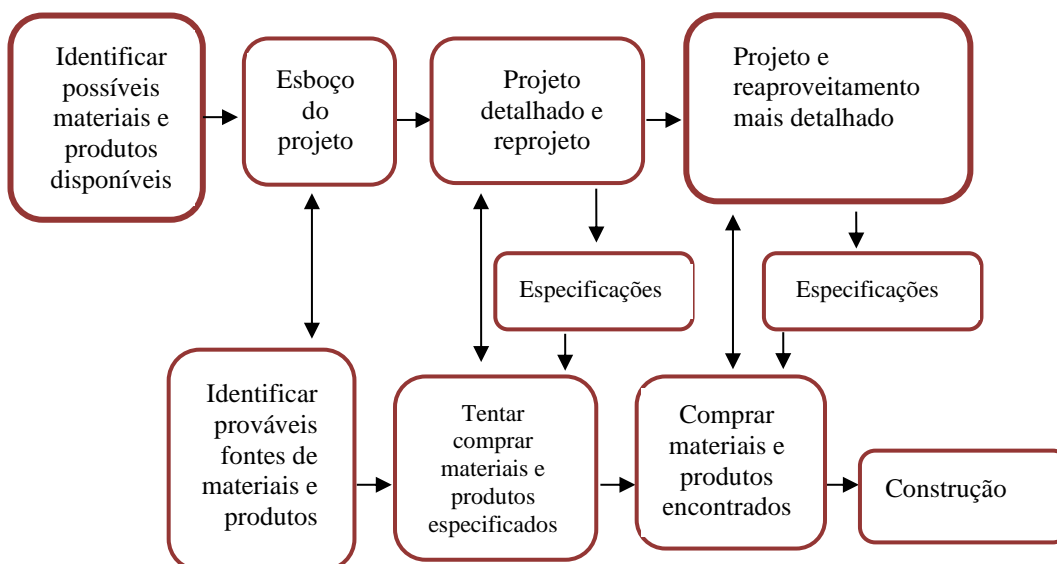


**Figura 1** – Fluxograma do projeto normal



Fonte: Adaptado de ADDIS (2010).

**Figura 2** – Fluxograma de um projeto com produtos e materiais reaproveitados



Fonte: Adaptado de ADDIS (2010).

Por meio das etapas observadas nos fluxogramas anteriores das Figuras 1 e 2, pode-se afirmar que o emprego de materiais e produtos reciclados requerem maior detalhamento de projeto e definição mais precisa das especificações. Além disso, outro fator é aplicabilidade do produto, que requer capacitação dos construtores, subempreiteiros e operários para melhor aplicação dos materiais reciclados, que pode ter alguma variação em relação ao produto não reciclado.

O ambiente construído é grande gerador de emissões de poluentes em todo seu ciclo de vida. Dentre muitas outras, as principais emissões são: radiações (*Environmental Protection Agency* (EPA), 2014), material particulado (JOHN, 2000), compostos orgânicos voláteis (VOC), os

clorofluorcarbono (CFCs e HCFCs), gases do efeito estufa e os óxidos de Nitrogênio e Enxofre. Portanto, os materiais fabricados e utilizados em habitações emitem compostos prejudiciais à saúde, sendo que alguns desses materiais são plastificantes, aceleradores, aditivo, antioxidante, solventes reagentes e subprodutos.

### **2.3 Características físico-químicas dos produtos reciclados**

Um produto reciclado precisa passar por todo o processo de análises químicas e controle de qualidade, pois foi reconstituído um novo material que precisa deste cuidado, teste de emissões de compostos orgânicos voláteis, presença de componentes tóxicos, ao longo da vida útil deste produto.

Dentro do contexto dos resíduos, a NBR 10.005 (ABNT, 2004c) ressalta a importância da lixiviação dos resíduos sólidos, que é o processo para determinação da capacidade de transferência de substâncias orgânicas e inorgânicas presentes no resíduo sólido, por meio de dissolução no meio extrator, visando diferenciar os resíduos classificados como classe I (perigosos), e classe II (não perigosos).

Neste sentido, pesquisas têm sido realizadas com intuito de alertar os riscos que os materiais empregados em edificações podem trazer para os ocupantes. De acordo com Šeduikyte e Bliūdžius (2005), uma grande quantidade de novos poluentes estão sendo emitidos para o ar interior das edificações devido os novos materiais utilizados em móveis, pisos, paredes e telhas.

Existem dois níveis de emissões: a primeira emitida pelo próprio material, imediatamente após a manufatura. Estima-se entre 60 a 70% de toda a emissão ocorra durante os primeiros seis meses, desaparecendo após um ano de uso. Essas emissões podem ser devido a poluentes resíduos de solventes, restos de matéria-prima, reação e decomposição de produtos do processo de produção, assim como aditivos. A segunda emissão de poluentes é principalmente causada por ações no material, podendo ser umidade e alcalinidade na estrutura do edifício, altas temperaturas de superfícies, tratamentos com químicos (desinfetantes, ceras, etc.) (ŠEDUIKYTE e BLIUDZIUS, 2005).

Corcuera (2010) indica que as pessoas passam cerca de 90% do tempo em locais fechados, onde a qualidade do ar pode ser pior que no ambiente externo. Esse autor afirma ainda que o ar interno pode se tornar de 10 a 50 vezes mais poluído que o ar externo, mesmo nas grandes cidades. Segundo esse mesmo autor, os poluentes internos vão desde toxinas, como amianto e

formaldeídos, encontrados em materiais de construção, aos causadores de alergias, como mofo, fungos, bactérias e ácaros. Os efeitos negativos destes poluentes podem causar problemas de saúde em baixa exposição ou mesmo muitos anos após. Assim, uma boa ventilação para a troca do ar interno é fundamental. Usando estratégias adequadas é possível melhorar a qualidade do ar em 80% (CORCUERA, 2010).

Continuando Corcuera (2010) menciona que é comum o uso de materiais não tóxicos, que tenham baixos níveis de Compostos Orgânicos Voláteis (COVs), incluindo tintas, carpetes, vernizes, tecidos, estofados, etc. Os COVs é uma categoria de milhares de compostos químicos diferentes, como formaldeído e benzeno, que evaporam rapidamente para o ar. São muito utilizados na fabricação de plásticos, nylon, tintas, colas, thinners e solventes.

São imediatamente sentidos e podem causar tontura, dores de cabeça, irritação na garganta, olhos e nariz ou asma, mas alguns podem também causar câncer, danos ao fígado, rins e sistema nervoso, além de estimular a alta sensibilidade a outros químicos. Os COVs estão em terceiro lugar, depois de cigarro e radônio, como risco de contaminação do ar interno (CORCUERA, 2010).

O PVC (policloreto de vinil) tem sido apontado como um material danoso à saúde, por sua longa e ampla emissão química ao longo do seu ciclo de vida. Alguns elementos de PVC usam *ftalatos* (DEHP) em sua plastificação (muitos produtos médicos, brinquedos e materiais de construção) e tem sido relacionado à asma e irritação dos brônquios.

Alguns metais pesados continuam a ser empregados como estabilizadores e outros aditivos em materiais de construção, inclusive no PVC. Chumbo, mercúrio e estanho são potentes neurotoxinas gerando malformação do cérebro em fetos e crianças. Cádmio é um cancerígeno e pode provocar lesões em rins, pulmões e outros órgãos (CORCUERA, 2010).

Estudos sobre a presença de formaldeído vêm sendo pesquisados há muito tempo. Kelly, Smith e Satola (1999) investigaram uma ampla variedade de produtos emissores de formaldeído, no inglês *formaldehyde* (HCHO), encontrados em casas na Califórnia. Os produtos testados incluem dois produtos "secos" (isto é, aqueles que emitem HCHO a uma taxa constante): madeira prensada e laminados decorativos; e produtos "molhados" (ou seja, aqueles que produzem um pico de emissões após a aplicação seguido de redução das emissões com a cura ou secagem de produtos) \_ pintura, papel de parede e acabamento para pisos. Segundo esses autores, mesmo após encontrarem os resultados, perceberam que ainda seriam necessários

estudos mais aprofundados para a identificação das características de produtos como tintas e papel de parede.

Amaral, Guío e Sichiari (2014) analisaram nove possíveis COVs emitidos em sete marcas de tintas encontrados no comércio da cidade de São Carlos, São Paulo, Brasil. O método foi realizado por cromatografia gasosa acoplada ao espectrômetro de massa, foram encontrados seis COV na composição das emissões atmosféricas das sete amostras de tintas.

Xu *et al.* (2012) mediram os coeficientes de formaldeído para três materiais (placas de gesso convencional, placas de gesso “verde” e carpete “verde”), sob três condições de umidades relativas (UR) condições (20%, 50% e 70%). Os resultados mostraram que a alta umidade relativa conduziu a um coeficiente de difusão efetivo maior para os três materiais. Portanto, de acordo com os autores, os dados gerados podem ser utilizados para avaliar os efeitos de absorção de formaldeído em materiais de construção e seu impacto sobre a concentração de formaldeído em edifícios.

Dentro do contexto desta pesquisa, vislumbrando a sustentabilidade, os autores James e Yang (2005) comparam a quantidade de compostos orgânicos voláteis (COV) de três grupos de materiais verdes e em contrapartida materiais não-verdes utilizando *small-scale chamber* sob condições ambientais controladas. Encontraram que tanto os materiais verdes como os não-verdes continham compostos orgânicos voláteis perigosos.

Por esta razão, os materiais verdes, *green*, sustentáveis, reciclados, sempre devem ser analisados com maior cuidado, visto que os impactos ambientais que proporcionam muitas vezes têm mesma ou semelhante funcionalidade dos materiais comuns, ou pior, podem conter elementos no qual se desconhece o comportamento ao longo do uso do material.

## **2.4 Seleção de materiais**

Para John, Oliveira e Agopyan (2006), uma construção mais sustentável depende da “seleção correta de materiais e componentes, que pode ser definida como a seleção de produtos que, combinada a um correto detalhamento de projeto, resultam em impactos ambientais menores, benefício social e viabilidade econômica”.

Diferentes sistemas construtivos inovadores procuram atualmente atender às soluções de sustentabilidade. Ou seja, pode-se utilizar uma estrutura leve de aço (*light steel frame*), de madeira (*wood frame*), entre outras. Há também o conceito da pré-fabricação, com projeto

ecológico modular com materiais de baixo impacto e, muitos deles reciclados ou reaproveitados.

Com crescente variedade de soluções construtivas, observa-se que não são apresentadas regras ou critérios para a seleção de materiais e componentes. Para Oliveira (2009), definir o que vem a ser a “correta” seleção torna-se um desafio pela variedade de fatores que passa a ser considerada, tamanha a complexidade e a gama de conhecimentos necessários.

John, Oliveira e Lima (2007) concordam que a construção sustentável deve incorporar procedimentos de seleção de materiais com base na sustentabilidade. A seleção, segundo critérios de sustentabilidade, considera que as características dos produtos podem variar em função da aplicação e dos aspectos ambientais e sociais (JOHN, OLIVEIRA e LIMA, 2007).

Para que um material pode ser considerado mais sustentável que outros exige um processo de definição de critérios que envolve incertezas e variáveis subjetivas. Para John, Oliveira e Lima (2007), a seleção dos materiais baseada em aspectos ambientais, sociais e econômicos tem sido pouca abordada na literatura internacional (JOHN, OLIVEIRA e LIMA, 2007).

Assim, torna-se importante conhecer alguns destes critérios para que a decisão sobre o produto a ser utilizado tenha suas principais características mais conhecidas.

Dentro deste cenário, foi realizada uma busca de referências acerca do tema estudado, visando obter uma perspectiva do uso de tomada de decisão para seleção de materiais no Brasil e no mundo. Foram pesquisadas nas áreas de tomada de decisão e também de seleção de materiais na construção civil. O Quadro 1 exibe uma síntese sobre as referências identificadas, entre elas: a “Ferramenta dos 6 passos” do Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS) para seleção mais sustentável de materiais (CBCS, 2011); um guia prático sugerido por Hammond, Keeney e Raiffa (2015) em como tomar melhores decisões, assim também propõe Myatt (2012), ferramentas analíticas e de tomada de decisão proposta pela Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE, 2012), Ferrante (2013) com uma proposição de seleção voltada principalmente para as características do material, e um guia de tomada de decisões proposto pelas pesquisadoras da *Texas Woman's University Counseling Center* (TWUCC, 2016).

**Quadro 1 – Referências em seleção de material de construção**

<b>Referência</b>	<b>Abordagem</b>	<b>Descrição</b>
“Ferramenta 6 passos” (CBCS, 2011)	Verificação da formalidade da empresa fornecedora de material	Se o CNPJ (cadastro nacional de pessoa jurídica) de uma empresa não é válido significa que o imposto não está sendo recolhido ou que a empresa não tem existência legal.
	Verificação da formalidade da empresa: licença ambiental da unidade fabril	Nenhuma atividade industrial pode operar legalmente sem licença ambiental, concedida pelo órgão ambiental estadual.
	Qualidade do Produto: Respeito às normas técnicas	A baixa qualidade dos produtos é uma fonte importante de desperdício: estes produtos não apresentam desempenho adequado e uma grande parcela deles acaba sendo substituídos, gerando custos e resíduos. Verificar no site do PBQPH - SIMAC
	Analisar o perfil de responsabilidade socioambiental da empresa	Importante verificar a existência do Relatório de Responsabilidade Socioambiental da empresa e analisar a qualidade do mesmo junto com o site e o catálogo de produtos e serviços.
	Cuidado com “verniz verde” (Green washing)	Confirmação por parte do cliente da ecoeficiência do dado ao produto pelo fornecedor
	Análise a durabilidade do produto nas condições do seu projeto	A vida útil do seu produto é determinante do seu impacto ambiental
Hammond, Keeney e Raiffa (2015)	Identificar o motivo da sua decisão	O que é exatamente o problema a ser resolvido? Porque deve ser resolvido?
	Reunir informações	Quais fatores o problema envolve?
	Identificar os princípios para julgar as alternativas	Que normas e critérios de julgamentos devem ter a solução?
	Brainstorm e lista de diferentes opções	Gerra ideias para possíveis soluções
	Avaliar cada escolha em termos de suas consequências	Use suas normas e critérios de julgamento para determinar os prós e contras de cada alternativa.
	Determinar a melhor alternativa.	Isto é muito mais fácil depois de percorrer as etapas de preparação acima.
	Colocar a decisão em ação	Transforme a sua decisão no plano específico de etapas da ação. Executar o seu plano.
Avaliar o resultado de seus passos decisão e ação	Que lições podem ser aprendidas? Este é um passo importante para o desenvolvimento da sua decisão fazendo habilidades e julgamento.	
Ferrante (2013)	Especificação dos produtos	Pesquisa de mercado. Grau de normalização, requisitos do produto, funções a serem desempenhadas.
	Análise funcional do produto	São analisados após a elaboração de um desenho preliminar, segundo uma hierarquia que vai desde a necessidade absoluta até a simples desejabilidade
	Propriedades dos materiais	Levar em conta propriedades ligadas ao desempenho, meio ambiente, custos indiretos

Referência	Abordagem	Descrição
	Aspectos econômicos	Custo; Escala de produção do produto (milhares, milhões, unidade/ano, poucos); Vida esperada (descartável, centenas de horas, anos); Fabricabilidade (formabilidade, soldabilidade, usinabilidade); Valor de sucata; Reciclabilidade; Conteúdo de energia do material.
	Disponibilidade do material	Estoque comercial ("de prateleira"); número mínimo de unidades; única fonte de suprimentos; requisitos especiais de processamento.
Myatt (2012)	Realizar uma análise da situação	O que está motivando a necessidade de uma decisão? Que dados, análise, pesquisa, ou informação de apoio que você tem que validar as perguntas sobre a condução da sua decisão?
	Sujeite sua decisão ao escrutínio público	Não há decisões privadas. Você já procurou o conselho e / ou feedback antes de tomar sua decisão?
	Realizar uma análise de Custo/Benefício	Será que os benefícios potenciais derivados da decisão justificam os custos esperados? E se os custos excedem as projeções, e os benefícios ficam aquém das projeções?
	Avaliar a relação Risco/Recompensa	Quais são as possíveis recompensas, e quando contrastado com todos os potenciais riscos, as probabilidades são a seu favor ou são contra você?
	Avaliar se é a coisa certa a fazer	Fique com pé atrás com decisões que todos apoiam. Há muitas áreas em que o compromisso traz benefícios significativos, mas o seu sistema de valores, seu caráter, ou a sua integridade nunca deve ser comprometido.
	Decida	Talvez o mais importante é ter um viés para a ação, e estar disposto a tomar a decisão. Além disso, você deve aprender a tomar a melhor decisão possível, mesmo se você possuir um conjunto de dados incompletos
	Bonus - Sempre tenha uma Plano Backup	Líderes inteligentes sempre ter um plano de contingência circunstâncias saber às vezes pode cair além dos limites da razão ou controle - nenhum "Plano B" é igual a um plano falho.
Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE, 2012)	Ferramentas que preveem efeitos ambientais e socioeconômicos	A Avaliação da Qualidade de Vida (Quality of Life Assessment – QoLA) pretende identificar aquilo que importa e porquê, numa determinada área, de modo a que as consequências boas e más para a qualidade de vida (ambientais, sociais e econômicas), decorrentes de ações estratégicas, possam ser levadas em conta.
	Ferramentas que analisam e comparam opções	Análise custo-benefício (ACB): Uma técnica relativamente simples e bastante utilizada para decidir sobre a realização, ou não, de determinada alteração.
	Análise do cenário/análise da sensibilidade	A análise da sensibilidade mede o efeito que teria nas previsões a alteração de um ou mais valores de entrada sobre os quais existe incerteza.
	Análise Multicritérios (AMC)	Técnicas capazes de avaliar uma variedade de opções de acordo com uma variedade de critérios, com unidades diferentes (por exemplo, \$,ton., km etc.). Trata-se de uma vantagem significativa em comparação com métodos tradicionais de ajuda à decisão (por exemplo análise custo-

Referência	Abordagem	Descrição
		benefício), nos quais havia a necessidade de converter os critérios para uma mesma unidade (por exemplo, conversão para dólar). Possuem também a capacidade de analisar critérios de avaliação quer quantitativos, quer qualitativos (por exemplo sim/não, vantagens e desvantagens). As técnicas de AMC têm três componentes comuns: um dado conjunto de alternativas; um conjunto de critérios para comparar as alternativas; e um método para hierarquizar as alternativas com base na forma como satisfazem os critérios.
Texas Woman's University Counseling Center (TWUCC, 2016)	Respire fundo e relaxe	Decisões tomadas quando se está calmo, são melhores.
	Não tomar decisão quando você está se sentindo aflito ou ansioso	Quando passamos por momentos de estresse, não se pode pensar com clareza e se é menos capaz de fazer escolhas fundamentadas.
	Saber quando a decisão precisa ser feita	Pergunte-se: "Esta decisão deve ser tomada agora?" Muitas vezes, a resposta é "não". É importante dar-se tempo suficiente para relaxar, pensar claramente, e considerar todas as alternativas disponíveis.
	Identificar as informações necessárias para uma decisão fundamentada	Pergunte a si mesmo: "O que eu preciso saber, a fim de fazer uma boa decisão sobre esta área. Muitas vezes, uma vez que esta informação está disponível, as escolhas se tornam muito mais clara.
	Identificar potenciais fontes de informações necessárias	Brainstorm sobre onde você pode encontrar a informação que você precisa. Seja criativo.
	Reunir as informações que você precisa, a fim de tomar uma decisão fundamentada	Pedir, procurar, entrevistar, consultar, ler. Lembre-se que quanto mais informações você adquirir, mais fácil e mais fundamentada será a sua decisão.
	Conversar com outras pessoas sobre a sua decisão pendente, mas reconhecer que a escolha é só sua	Outros podem ter informações, pensamentos e ideias que você pode não ter conhecido ou considerados. É importante lembrar, porém, que você é o único responsável por suas decisões.
	Anote as informações reunidas	Anote o que aprendeu para ter um registro onde possa facilmente e rapidamente consultar.
	Liste as opções e alternativas	Uma vez se tenha obtido a informação sobre as áreas de escolha, fazer uma lista de alternativas disponíveis. Muitas vezes, descubram-se opções que não haviam sido consideradas anteriormente.
	Listar os prós e contras de cada opção disponível	Defina sua lista para baixo e voltar a ele alguns dias mais tarde para ver se você tem pensado em consequências adicionais que podem ser adicionados à lista.
	Esclarecer seus valores, objetivos, interesses, necessidades e desejos sobre a área de interesse	Leve o tempo que você precisar para determinar quais as questões que são importantes para você.
Pese os prós e contras de cada alternativa disponível	Os fatores identificados como "essencial" será mais importante na escolha de uma opção do que os fatores identificados como "preferível, mas não crítico".	



Referência	Abordagem	Descrição
	Reconhecer que há raramente (ou nunca) Uma Única Resposta "certa"	Quando nos envolvemos no pensamento preto-e-branco, colocamos pressão sobre nós mesmos que reduz a nossa capacidade de tomar decisões fundamentadas.
	Selecione a sua escolha	Muitas vezes, a informação que você coletou exclui algumas opções e esclarece o potencial impacto de outras alternativas.
	Depois de ter feito a sua decisão, relaxe e esqueça	Uma vez que uma decisão foi tomada, não há nenhum ponto em ficar obcecado com isso. Lembre-se que não há uma única escolha "correta".
	Permita-se cometer erros	O objetivo da tomada de decisão não é para tomar a decisão certa, mas para tomar a decisão que aparece melhor com base na informação disponível
	Se uma escolha não funcionar, aprender com o processo	Substitua os pensamentos que você "deveria ter" selecionados um curso de ação diferente com "Teria sido bom se" você tinha feito uma escolha diferente. Seja grato por todas as informações que você aprendeu sobre si mesmo através de sua escolha anterior. Use esta nova informação para avaliar as suas opções e, mais uma vez, selecione a alternativa que é melhor para você, com base na informação que está disponível.
	Praticar a tomada de decisão	A maioria das pessoas têm experiência limitada na tomada de decisões. Qualquer tarefa não familiar passa ser estranha e difícil no início. Mas, assim como andar de bicicleta torna-se mais fácil com a prática.

**Fonte: Autora, 2018.**

Em análise ao Quadro 1, foi possível correlacionar as duas áreas de interesse – tomada de decisão e seleção de material. Os autores Hammond, Keeney e Raiffa (2015) acreditam na tomada de decisão com foco em seus objetivos e no apoio da intuição e experiência para sugerir a escolha certa, pois muitas vezes não há tempo hábil suficiente para agir sistematicamente por meio dos procedimentos de ação.

Myatt (2012), por sua vez, expressa que a chave do entendimento em tomar grandes decisões é aprender como sintetizar e filtrar a grande quantidade de informações de entrada, e assim compreender que uma hierarquia de conhecimento é criticamente importante quando se tenta tomar decisões prudentes.

A Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) criada como objetivo de buscar soluções para a reconstrução dos países europeus afetados pela Segunda Guerra Mundial, sugere um Guia de Boas Práticas na Cooperação para o Desenvolvimento, onde um dos tópicos abordados são ferramentas de análise de multicritérios para a tomada de decisão estratégica (OCDE, 2012).

Uma universidade no Texas - *Texas Woman's University (TWU)* - possui um centro de aconselhamento estudantil em seus campi sendo um dos objetivos ajudar os alunos com o processo de resolução de problemas e tomada de decisão (TWUCC, 2016). O *TWU Counseling Center (TWUCC)* é uma agência do campus designada para proporcionar serviços psicológicos aos alunos.

Nota-se que entre os direcionamentos citados pelas fontes de referência, são sugeridas as técnicas de análise custo-benefício, assim como análise de sensibilidade.

Após análise dos textos, verificou-se que apesar de existirem boas ideias para tomada de decisão e seleção de materiais, falta integrar esses dois conceitos de forma mais direcionada para a construção civil.

Nesta pesquisa foi possível identificar que há carência com relação ao tema no Brasil, apesar de cada vez mais estarem surgindo estratégias, pesquisas, tais como os programas de certificação ambientais, a tomada de decisão não participa destes processos. No tocante a etapa de execução das construções, mais especificamente às instalações provisórias de canteiro, as preocupações são menores ainda, não havendo pesquisas que abordem o tema.

Devido à complexidade e sobreposição de requisitos das diversas dimensões a serem consideradas na seleção de materiais e componentes mais sustentáveis, é natural a ocorrência de *trade-offs*, que são diferenças significativas esperadas entre as alternativas. Isso ocorre não apenas entre materiais alternativos, mas também entre materiais similares, mas com processos de produção diferentes. Desta forma, julgamentos subjetivos de materiais como bons ou maus devem ser evitados, buscando-se julgamentos baseados nas características técnicas de cada produto (JOHN, OLIVEIRA e LIMA, 2007).

Para John, Oliveira e Lima (2007), a seleção assistida por ferramentas de avaliação deve oferecer uma interface para que o usuário possa processar sistematicamente um número significativo de critérios, muitas vezes inter-relacionados e conflitantes. Estas ferramentas deverão ser desenvolvidas com base em conhecimentos sobre: (a) a gestão do processo de desenvolvimento do produto; (b) a avaliação ambiental de produtos com base na abordagem do ciclo de vida; (c) a avaliação de custos no ciclo de vida dos produtos, (d) critérios de avaliação de adequação social.

De tudo que foi mencionado neste capítulo, pode-se afirmar que o mercado dos materiais de construção deve atualizar-se com relação às novas tecnologias e processos visando menores agressões ao ambiente construído e usuários. Uma construção mais sustentável depende da seleção correta de materiais e componentes, que pode ser definida como a seleção de produtos que, combinada com o correto detalhamento de projeto, resulta em impactos ambientais menores e em maior benefício social, dentro dos limites da viabilidade econômica, para uma dada situação.

A sustentabilidade que tem se disseminado nas construções brasileiras é vista com bons olhos, pois incentiva pesquisas acadêmicas, introduz novas metodologias às empresas construtoras, assim como facilita o uso de novas tecnologias de equipamentos, energias renováveis, procedimentos de gestão e gerenciamento em canteiros de obra. Entretanto, entende-se que essas práticas devem estar relacionadas com a correta seleção de materiais para que o processo seja completo e entendido por todos os envolvidos na cadeia produtiva da construção civil.

# 3 MÉTODOS DE TOMADA DE DECISÃO

Diariamente as pessoas se deparam com situações que necessitam de decisões a serem tomadas, das mais simples as mais complexas “[...] uma tomada de decisão adequada significa que o decisor está informado, ou seja, que tem as informações relevantes e apropriadas nas quais está baseada sua decisão” (SAUTER, 1997). Assim, torna-se importante basear-se em informações confiáveis para obter bons resultados nas ações decisórias. Em relação à alternativa de adoção dos aspectos de desenvolvimento sustentável, entende-se que isso tem sido um importante ponto focal para os tomadores de decisão em vários tipos de indústria.

Este capítulo procura apresentar os conceitos relacionados com esta importante prática gerencial e sua adoção na indústria da construção, com foco em critérios e parâmetros de sustentabilidade, assim como os dois métodos de tomada de decisão utilizados nesta pesquisa e o contexto em que está inserido.

## 3.1 O processo de tomada de decisão

A tomada de decisão, segundo Oliveira (2004), é a conversão das informações em ação. Assim sendo, decisão é a ação tomada com base na apreciação de informações. Decidir é recomendar entre vários caminhos alternativos que levam a determinado resultado. Maximiliano (2002) analisa que a tomada de decisão é uma função importante e complexa no papel do executivo, pois administrar é sinônimo de tomar decisões.

Para Robbins (2006), a decisão certa reside tanto na interpretação adequada do problema, como na escolha da alternativa correta. O autor destaca a racionalidade do processo de tomada de decisões, ou seja, a pessoa que toma as decisões é racional, faz escolhas consistentes, potencializando o valor dentro das limitações específicas.

Os métodos multicritérios, como é chamado o estudo dos processos alternativos de tomadas de decisões, têm sido muito utilizados na solução de problemas de tomada de decisão, uma vez que procuram esclarecer ao decisor as possibilidades de escolhas (ABRAHAM, LEPECH,

HAYMAKER, 2013). Os métodos multicritérios apoiam o processo decisório, embasado nas informações existentes, incorporando valores dos agentes, na busca da melhor solução.

De acordo com Moraes (1999), na década de 40 existiam pesquisadores e estudiosos que contribuíram direta ou indiretamente para o desenvolvimento desta área, preocupados com a racionalidade do processo decisório. Mas, é só na década de 60 que surgem os métodos probabilísticos voltados para a tomada de decisão. Na década de 70, uma nova fase do processo de apoio à decisão começou a tomar forma com o início de uma comunidade científica, interessada pelo domínio multicritério.

Nos dias atuais, as análises multicritérios tornaram-se praticamente obrigatórias nas empresas e organizações em razão da grande competitividade imposta no mercado, onde qualquer falha pode ser crucial para o bom desempenho dos negócios. Por outro lado, essa exigência é considerada como uma “ferramenta” de gestão empresarial que colabora com menores índices de erros e conseqüente melhoria do desempenho em todos os departamentos administrativos.

A classificação das decisões podem ser consideradas de acordo com o tempo que se gasta para tomá-las, segundo Certo (2003), e estão divididas em dois tipos básicos: programada e não programada. Para esse autor, as decisões programadas são aquelas rotineiras e repetitivas nas quais a organização costuma desenvolver maneiras específicas de lidar com elas. Decisões não programadas, ao contrário, são tipicamente decisões tomadas uma única vez, que, em geral, são menos estruturadas que as programadas.

Na visão de Robbins (2006), um procedimento de tomada de decisão que é recomendado para uso gerencial é o apresentado a seguir: (1) identificar um problema existente; (2) enumerar alternativas possíveis para a solução do problema; (3) selecionar a mais benéfica das alternativas; (4) implementar a alternativa escolhida; (5) reunir dados para descobrir se a alternativa implementada está solucionando o problema identificado.

O autor continua afirmando que, na maioria dos casos, é impossível para aqueles que tomam decisões saber exatamente quais as futuras conseqüências da implementação de uma alternativa, uma vez que as organizações e seus ambientes estão mudando constantemente (ROBBINS, 2006).

Assim, alguns autores criaram métodos para apoio à tomada de decisão para suas organizações a fim de melhorar os processos. De acordo com Noro (2012), a tomada de decisão em gestão

de projetos é uma área que vem crescendo cada vez mais, uma vez que as organizações que investirem nesta área poderão alcançar vantagens competitivas no atual cenário competitivo. Levando isto em consideração, a gestão de projetos pode auxiliar estrategicamente no processo de tomada de decisão organizacional, tornando-a mais competitiva, à medida que desenvolverá habilidades e diferenciais perante seus concorrentes (VERZUH, 2000).

Para Atkinson (1999), pode-se verificar que uma empresa, ao atuar em um contexto competitivo e atentar-se para os critérios necessários para sua sobrevivência e crescimento e, para obter o maior retorno possível sobre o capital investido, se utiliza de diversas ferramentas a fim de obter maior retorno do mercado.

No entanto, com as mudanças em sentido global, além dos fatores econômicos e estruturais, outros também começam a fazer parte da responsabilidade das empresas, como questões do meio ambiente natural e as questões sociais. Para que as organizações possam contribuir para a sustentabilidade devem realizar mudanças em seus processos produtivos, quando for necessário, para se tornarem sustentáveis (ARAÚJO *et al.*, 2006).

Entende-se que pode haver dificuldade de inserção de um método de tomada de decisão dentro de uma organização. Segundo Gomes e Gomes (2003), algumas das vantagens da utilização da metodologia multicritérios, pode ser mencionada da seguinte forma:

- Uso fácil por não especialistas, preferencialmente transformada em um programa de computador que seja o mais amigável possível com o usuário, dispondo de recursos gráficos visuais;
- Constituiu-se em um método lógico e transparente;
- Provê liberdade de ambiguidade para interpretações dos dados de entrada;
- Engloba tanto critérios quantitativos como qualitativos;
- Apresenta os julgamentos de valor;
- Permite ao decisor dispor de algoritmos que utilizem critérios independentes ou interdependentes uns dos outros;
- Incorpora questões do comportamento humano nos processos de decisão.

As várias especificidade existentes no setor da construção civil e suas interdependências apresentam complexidade das decisões e a necessidade de envolvimento de vários agentes. Considerando também o prazo de execução do ciclo do empreendimento, verifica-se que

durante o processo de produção, podem ser necessários vários e diferentes níveis de tomadas de decisão.

Para Abraham, Lepech, Haymaker (2013), o constante problema que o setor da construção civil enfrenta com tomadas de decisões exige um conjunto de abordagens chamado análise de decisão multicritérios ou *Multi-criteria Decision-Analysis* (MCDA). Além disso, estudo recente reportou que decisões antecipadas, somadas a um planejamento confiável, impactam de modo considerável na segurança e nas instalações críticas durante todo o ciclo de vida da construção (SAID e EL-RAYES, 2010).

Para John, Oliveira e Agopyan (2006), uma construção mais sustentável depende da “seleção correta de materiais e componentes, que pode ser definida como a seleção de produtos que, combinada a um correto detalhamento de projeto, resultam em impactos ambientais menores, benefício social e viabilidade econômica”.

No contexto desta pesquisa, destaca-se a importância da visão global e sustentável do setor, ao se adotar um método para gestão das tomadas de decisões, principalmente por poder verificar que as mudanças podem ocasionar melhores impactos ambientais, sociais e econômicos. Acerca deste tema, Noro (2012) verificou que cerca de 30% dos projetistas inserem em seus projetos mudanças que beneficiem o meio ambiente, tais como o recolhimento da água da chuva, aquecimento solar etc., visando criar valor para seus clientes e ajudando a conquistar novos mercados.

Assim, torna-se importante estudar alguns métodos disponíveis para auxiliar os agentes da construção civil a tomarem a decisão mais correta com relação aos aspectos de sustentabilidade.

### **3.2 Metodologias Multicritérios**

Para alguns autores, a utilização de uma metodologia multicritério e não de um critério único, advém do fato de se estar em presença de um só objetivo. Uma das críticas pelo uso deste tipo de metodologia é manifestada por Rosenhead (1989), ao referir-se que os modelos clássicos de planejamento em Investigação Operacional apontavam para a definição de um único objetivo, determinado por uma só pessoa, na busca de uma solução ótima.

Por outro lado, Cohon (1978) defende que os modelos de análise multicritério são capazes de fornecer muito mais informação, permitindo que as decisões a tomar sejam o mais subsidiadas possível, são métodos muito mais flexíveis do que os modelos de objetivo único, permitindo

uma melhor adaptação a cada caso. Para além disso, permitem formular e comparar sistematicamente diferentes alternativas contra grandes conjuntos de critérios de projeto, fornecendo uma ferramenta versátil aos engenheiros para lidar com complexas tarefas de tomada de decisão (MILANI *et al.*, 2011).

Existem muitos métodos multicritérios para tomada de decisão. Guarnieri (2015) expõe uma classificação das abordagens de apoio multicritério à decisão (AMD) em: (a) Teoria da utilidade multiatributo ou do Critério único de síntese; (b) Abordagem de sobre classificação ou superação; e, (c) Métodos interativos.

De acordo com Guarnieri (2015), a Teoria da Utilidade Multiatributo ou do Critério Único de Síntese deriva-se da corrente de pensamento americana de preferência do decisor por determinada alternativa, quando a avalia mediante um conjunto de critérios ou indicadores, ou seja, é gerado um *score* de cada alternativa com base no desempenho que apresentou em cada critério. Assim, as alternativas melhor avaliadas são as que obtiverem o melhor escore. Alguns métodos desta abordagem podem ser citados: *Multi-Attribute Utility Theory* (MAUT), *Simple Multicriteria Attribute Rating Technique* (SMART), *Technique for Order Preference by Smilarity to Ideal Solution* (TOPSIS) e *Analytic Hierarchy Process* (AHP).

A Sobreclassificação ou Subordinação é derivada da corrente francesa, sendo que o principal objetivo é a construção de relações binárias que representem as preferências do decisor com base na informação disponível entre critérios, neste caso, não se obtém um *score* das alternativas mediante seu desempenho em cada critério (GUARNIERI, 2015). Por meio de uma comparação par a par, verifica-se qual alternativa é superior em cada critério, estabelecendo-se uma relação de superação no confronto entre duas alternativas. Os principais métodos desta abordagem são os das famílias: *Elimination and Choice Translating Algorithm* (ELECTRE) e *Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation* (PROMETHEE) (GUARNIERI, 2015).

Os Métodos Interativos são desenvolvidos principalmente no âmbito da *Multi-objective Linear Programming* (MOLP), os quais se caracterizam por possuir passos computacionais e serem interativos, e mediante a comparação entre critérios, buscam a solução mais satisfatória e não a dominante. Alguns métodos dessa abordagem podem ser citados: *StepMethod* (STEM), *Tricriterion Multiobjective Linear Programming* (TRIMAP), *Interval Criterion Weights* (ICW) e *Pareto Race* (GUARNIERI, 2015).



A seguir são apresentados dois métodos de forma detalhada, o *Analytic Hierarchy Process* (AHP) e o *Choosing by Advantage* (CBA). O AHP é muito utilizado nas diversas áreas do conhecimento para a tomada de decisão, inclusive na engenharia civil/setor da construção para seleção de materiais (HOPFE, AUGENBROE e HENSEN, 2013). O segundo (CBA) é um método bem menos conhecido, mais utilizado na filosofia *lean construction* especificamente (SUHR, 1999; ARROYO, 2014).

A escolha do método multicritério AHP para comparação ao método CBA na pesquisa foi devido ao uso do método matemático no setor da construção como demonstram as pesquisas seguintes.

### **3.2.1 *Analytic Hierarchy Process* (AHP)**

Um método de tomada de decisão muito utilizado em diversas áreas, principalmente na indústria da construção, é o *Analytic Hierarchy Process* (AHP), em português Método de Análise Hierárquica. A ferramenta AHP foi desenvolvida pelo matemático Thomas Saaty na década de 70 para auxiliar no processo de tomada de decisões subjetivas e em suas justificativas (GASS, 1985).

AHP pode ser utilizado em situações de definição de prioridade, avaliação de custos e benefícios, determinação de requisitos, entre outras. Cruz Júnior e Carvalho (2003) afirmam que para a utilização da ferramenta, o problema deve ser formulado como uma árvore de decisão, com cada nível hierárquico envolvendo alguns atributos.

O processo AHP seleciona e organiza os fatores em uma estrutura hierárquica que decresce em níveis de uma meta geral, para critérios, subcritérios e alternativas, sucessivamente (SAATY, 1990).

Saaty (1990) explica que a forma racional encontrada para lidar com os julgamentos, foi a determinação das prioridades dos fatores mais baixos com relação ao objetivo sendo uma sequência de comparação por pares. Por meio das comparações por pares, as prioridades calculadas pelo AHP capturam medidas subjetivas e objetivas, e demonstram a intensidade de domínio de um critério sobre o outro ou de uma alternativa sobre a outra, segundo o autor.

Para se fazer bom uso da escala de prioridades, entretanto, é preciso compreender o que são os julgamentos no método criado por Saaty. Um julgamento ou comparação é a representação numérica de uma relação entre dois elementos (SAATY, 1990).

Segundo Gass (1985), o AHP utiliza um modelo de comparação quantitativa que auxilia a verificação da relação entre opções qualitativas e define a importância de cada alternativa. O autor afirma que a escala utilizada (de 1 a 9, sendo os números pares utilizados apenas quando há uma espécie de compromisso entre dois números consecutivos) baseia-se em estudos psicológicos.

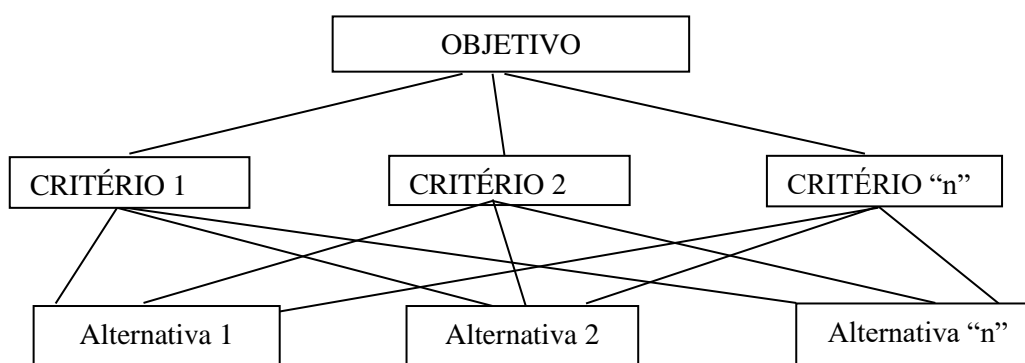
De acordo com Saaty (1990), o principal objetivo deste processo de tomada de decisão é a satisfação do participante, pois “[...] se uma teoria de apoio à decisão é digna de confiança, deve haver singularidade na representação dos julgamentos, e das escalas derivadas desses julgamentos”.

### 3.2.1.1 A escala de pontuação AHP

De acordo com o método proposto por Saaty (1990), para se obter uma escala de pontuações, é necessário calcular as matrizes de comparações dos fatores analisados para conhecer qual a melhor opção a ser empregada, neste estudo de coberturas leve de menor impacto para IPC.

Segundo Saaty (1990) as alternativas comparadas possuem critérios ou até mesmo subcritérios de comparações paritárias para se chegar ao objetivo principal. Conforme Saaty (1994), tem-se uma análise hierárquica geral, e ilustrado na Figura 3 seguinte.

**Figura 3** – Hierarquia do *Analytic Hierarchy Process* (AHP)



**Fonte: SAATY (1994).**

Esse é o fundamento do AHP: decomposição e síntese das relações entre os critérios até que se chegue a uma priorização dos seus indicadores, aproximando-se de uma melhor resposta de medição única de desempenho (SAATY, 1994).

Seguindo os métodos propostos, uma alternativa comparada com ela mesma (alternativa 1 linha x alternativa 1 coluna) sempre será =1, e uma alternativa linha comparada a uma coluna irá se

opor na próxima comparação igual. Como ilustração, apresenta-se um exemplo: se a comparação da alternativa 1 linha x alternativa 2 coluna= X, então a alternativa 2 linha x alternativa 1 coluna= 1/X, entendidos como recíprocos, conforme demonstrado no Quadro 2 seguinte.

**Quadro 2 – Matriz AHP**

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa “n”
Alternativa 1	<b>1</b>	X	Y	Z
Alternativa 2	1/X	<b>1</b>	Y’	Z’’
Alternativa 3	1/Y	1/Y’	<b>1</b>	Z’’’
Alternativa “n”	1/Z	1/Z’’	1/Z’’’	<b>1</b>

**Fonte: Autora, 2018.**

Para que as matrizes possam ser construídas, deve ser feito o julgamento entre os dois critérios analisados que sempre reflitam as respostas de duas perguntas: qual dos dois elementos é mais importante com respeito a um critério de nível superior, e com que intensidade, usando a escala de 1-9 (Quadro 3) conforme definido por Saaty (1990).

**Quadro 3 – Intensidade de importância da comparação AHP**

Intensidade de importância	Definição	Explicação
1	Ambos elementos são de mesma importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo
3	Moderada importância de um elemento sobre o outro	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra
5	Forte importância de um elemento sobre o outro	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra
7	Importância muito forte de um elemento sobre o outro	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra; sua dominação de importância é demonstrada na prática
9	Extrema importância de um elemento sobre o outro	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com mais alto grau de certeza
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre as opiniões adjacentes	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições
Recíprocos dos valores acima de zero	Valores intermediários na graduação mais	Usados para graduações mais finas das opiniões
Racionais	Razões resultantes da escala	Se a consistência tiver de ser forçada para obter valores numéricos n, somente para completar a matriz

**Fonte: Traduzido e adaptado de SAATY (1990).**

Cada julgamento representa a dominância de um elemento da coluna à esquerda sobre um elemento na linha do topo (SAATY, 1994).

A análise de sensibilidade é realizada por métodos multicritérios para testar os resultados obtidos. Segundo Oliveira e Martins (2015), a verificação da qualidade dos resultados obtidos é considerável para validar a aplicação do método, a questão está em quão sensíveis são as prioridades em relação a pequenas variações dos valores dos julgamentos.

Oliveira e Martins (2015) citam que para a verificação de sensibilidade do método AHP devem ser feitas simulações alterando os valores dos elementos da matriz de julgamento com pequenas variações do valor dos pesos pré-estabelecidos.

Apesar de sua popularidade e simplicidade em termos de conceito, os autores Akadiri, Olomolaiye e Chinyio (2013), acreditam que o método AHP é muitas vezes criticado por sua incapacidade de lidar adequadamente com a incerteza inerente e imprecisão associada com o mapeamento da percepção do decisor para exigir números, de acordo com a terminologia lógica *fuzzy*.

Assim, Akadiri, Olomolaiye e Chinyio (2013), pensaram em unir o método AHP ao método *Fuzzy Extended Analytical Hierarchy Process* (FEAHP) que utiliza números *fuzzy* triangulares como uma escala de comparação emparelhada para derivar as prioridades dos diferentes critérios de seleção e subcritérios. No estudo dos citados autores o peso dos vetores, em relação a cada critério determinado é obtido utilizando o princípio da comparação de números *fuzzy*. Como resultado, os pesos de prioridade de cada material são calculados e com base nisso, o material mais sustentável é selecionado.

### **3.2.2 *Choosing by Advantage (CBA)***

Primeiramente, algumas definições importantes devem ser dadas para o entendimento do método. De acordo com Suhr (1999), criador do método de tomada de decisões *Choosing by Advantage (CBA)*, ou “Escolhendo por Vantagem” em português, deve-se considerar as seguintes terminologias:

- Vantagem: um benefício, ganho, melhoria ou aperfeiçoamento. Especificamente uma vantagem é uma diferença benéfica entre os atributos de duas, ou mais alternativas;
- Alternativas: duas ou mais pessoas, coisas ou planos que são escolhidos a partir de outros;
- Atributo: uma característica, qualidade, ou consequência de uma alternativa;
- CBA (*Choosing by Advantage*): um sistema de tomada de decisões que suporta a tomada de decisões usando comparações específicas de vantagens das alternativas;

- Critério: uma regra de decisão. Existindo os “*must*” critérios – que expressa dever ou necessidade- geralmente representam condições que eliminam uma alternativa se esta não for encontrada. E os “*want*” critérios – que expressa querer ou desejo – representam preferências de um ou mais tomadores de decisões;
- Fator: um elemento, peça, ou componente de uma decisão. Fatores sustentáveis devem representar os aspectos sociais, econômicos e ambientais das alternativas.

O método americano CBA em 1981 foi criado pelo engenheiro civil Jim Suhr, presidente do Instituto de Decisões e Inovações dos EUA (SUHR, 1981). Esse método se caracteriza por ser um processo de tomada de decisões para melhor escolher o que se deseja, e “para que as decisões sejam decisões sólidas devem basear-se nos fatos relevantes” (SUHR, 1999).

O Sistema CBA inclui definições, princípios, modelos e métodos para praticamente todos os tipos de decisões, os princípios são fundamentais, as definições e modelos explicam os princípios e os métodos aplicam os princípios (SUHR, 1999). A seguir são exibidos quatro dos princípios sobre o qual o Sistema CBA se baseia:

- Baseado em decisões sobre a importância de potenciais diferenças entre as alternativas e não entre fatores, critérios, metas, categorias, objetivos, atributos, prós e contras;
- Baseado em decisões sobre a importância de vantagens, não-vantagens e desvantagens (uma vantagem é a diferença entre os atributos de duas ou mais alternativas);
- Baseado em decisões sobre os fatos relevantes (no vocabulário CBA, métodos que não baseiam suas decisões sobre os fatos relevantes são chamados métodos instáveis);
- Engenheiros, arquitetos, líderes nas organizações, e assim por diante são profissionais tomadores de decisões. Eles precisam aprender e habilmente usar métodos de tomada de decisões.

CBA é um conjunto de conceitos e métodos concebidos para tornar a tomada de decisões mais eficazes para as organizações, comunidades e indivíduos, é um sistema que usa comparações entre vantagens e alternativas.

Suhr (1999) relata que CBA não é um método de decisão totalmente objetivo, e nem há possibilidades de ser, porque não existe um método de tomada de decisão totalmente objetivo. Para esse autor, um método objetivo em uma tomada de decisão é uma impossibilidade. O autor acrescenta ainda que métodos qualificados como sólidos são objetivamente sólidos e subjetivamente sólidos, e não meramente objetivos.

No método CBA, é impossível atribuir pesos numéricos válidos, classificações ou pontuações para fatores, critérios, objetivos, etc. Quando um peso numérico é atribuído, ele deve ser atribuído a uma vantagem, sendo esta a importância da vantagem (ABRAHAM, LEPECH e HAYMAKER, 2013).

CBA baseia-se num princípio fundamental que exige basear as decisões sobre a importância das diferenças entre as vantagens das alternativas, e não a importância dos fatores, como é o caso de outros métodos convencionais de *Multi-criteria Decison-analysis* MCDA (SUHR, 1999). Segundo Karakhan, Gambatese e Rajendran (2016) esta distinção ajuda os decisores a limitar o julgamento pessoal, fornecendo um ponto de referência, de modo que uma decisão pode ser enraizada em seus fatos relevantes, em vez de se basear principalmente em fatores que podem ser irrelevantes como quando duas alternativas possuem a mesma qualidade e/ou quantidade de atributos.

Para decisões simples e complexas o tomador de decisão CBA precisa ancorar cada decisão sobre os fatos relevantes. De acordo com Suhr (1999), as decisões envolvendo importância devem basear-se em pelo menos três princípios:

- Não existem “coisas” com zero (0) de vantagem. No entanto, no quadro CBA (*display*) uma não vantagem é representada por um espaço em branco.
- Todas as vantagens de todas as alternativas são ponderadas com a mesma escala de importância, e a proposta é selecionar uma única vantagem principal.
- Tomada de decisão não é um ramo da matemática. Desta forma, a resposta é um apoio para a decisão e não um cálculo da importância de cada vantagem.

Contudo, o custo é raramente ilimitado (Suhr, 1999) e, portanto, o custo deve ser considerado no processo de tomada de decisão. Assim como o *lifecycloecost* – custo do ciclo de vida- que devemos considerar em todos os produtos, ou seja, todos os gastos embutidos no produto. CBA permite a distinção de valor e custo, esse recurso permite que um valor versus análise de custo inicial e de ciclo de vida seja feito antes de tomar uma decisão que crie mais transparência (Arroyo *et al.*, 2014, 2015), clareza e importância para o processo de tomada de decisão. Além disso, considerar as diferenças entre as alternativas ao tomar decisões é uma característica única do CBA em comparação com outros métodos MCDA (KARAKHAN, GAMBATESE e RAJENDRAN, 2016).

Um dos diferenciais de CBA com relação a outros métodos é que ele faz uma análise sistêmica sempre reconsiderando a decisão. Para Suhr (1999):

“a maior diferença entre métodos instáveis (não sólidos) e os sólidos, é que os instáveis pesam/ponderam coisas erradas como: Vantagens e desvantagens; Prós e contras; Fatores, objetivos, funções, ou categorias; Critérios ou objetivos; Atributos, características ou consequências. E este não é o objetivo da tomada de decisão multicritérios, sendo que uma desvantagem de um fator pode ser a vantagem de outro fator” (SUHR, 1999).

Normalmente, quando se escolhe entre duas ou mais alternativas, pesa-se as vantagens e as desvantagens, mas no método CBA é feita uma consideração de atributos e vantagens das alternativas.

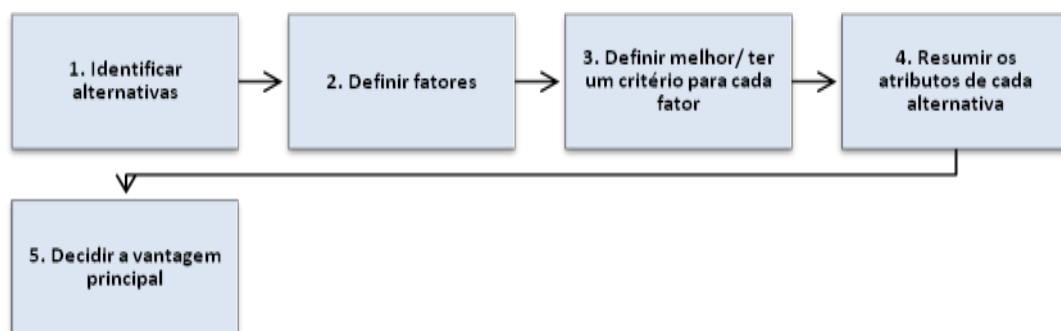
De acordo com o sistema CBA, os tomadores de decisão devem identificar quais os fatores que irão revelar diferenças significativas entre as alternativas (não quais fatores são mais importantes para os tomadores de decisão) (ARROYO, TOMMELEIN e BALLARD, 2015).

### 3.2.2.1 Fases do CBA

O método CBA para decisões moderadamente complexas, ou seja, quando se tem três ou mais alternativas, divide o processo de tomada de decisão em cinco fases: 1) fase de *stage-setting*, 2) fase de inovação, 3) fase de tomada de decisões, 4) fase de reconsideração, e 5) a fase de implementação.

Esta pesquisa possui foco na Fase 3 de tomada de decisão. A Figura 4 a seguir ilustra as cinco etapas desta Fase 3 de tomada de decisão do método CBA.

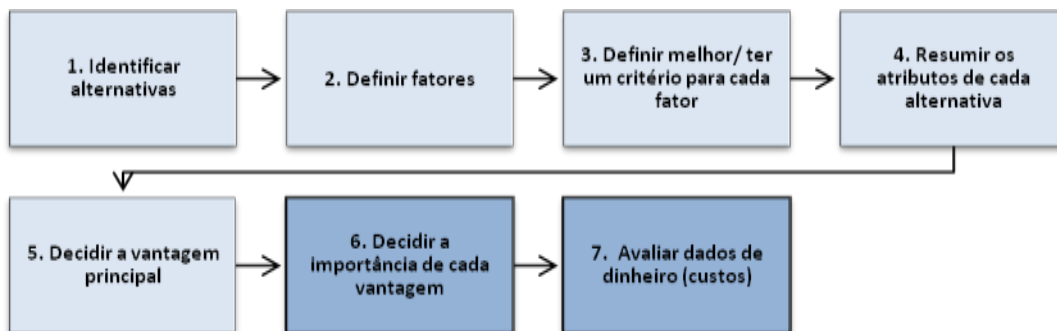
**Figura 4** – Etapas do método CBA para a fase de tomada de decisão



Fonte: Autora (adaptado de SUHR, 1999)

Para concluir o raciocínio da tomada de decisão, assim como propõem os autores Arroyo, Tommelein e Ballard (2013), a complementação da Fase 3 - Fase de tomada de decisão com duas etapas da Fase 2 - Fase de Inovação, então a proposição dos autores citados para tomada de decisão passa a ter sete etapas, cinco da Fase 3 e duas da Fase 2 como ilustra a Figura 5 seguinte.

**Figura 5** – Etapas do método CBA a ser seguida



**Fonte:** Adaptado e traduzido de ARROYO, TOMMELEIM e BALLARD (2013).

Portanto, a seguir, é apresentado resumidamente cada etapa (1 a 7) da proposição do método CBA por Suhr (1990) e por Arroyo, Tommelein e Ballard (2013) para tomada de decisão.

A identificação das alternativas considerando a variedade de produtos/sistemas a serem comparados (Etapa 1); os fatores relevantes são definidos entre os tomadores de decisão (Etapa 2), resume-se o que será analisado nas alternativas em automaticamente define-se os critérios necessários para análise dos fatores (Etapa 3), o critério deve atender os fatores escolhidos anteriormente; os atributos devem ser relacionados com as alternativas (Etapa 4), posteriormente passa-se a decisão da melhor vantagem através dos atributos menos preferidos (Etapa 5). A equipe de projeto definirá uma escala de notas por importância das vantagens (Etapa 6), para finalmente avaliar os dados de custo (Etapa 7) onde a equipe de tomada de decisão faz a pontuação total das IofA (importância das vantagens) para cada alternativa comparando com o custo local. A decisão deverá considerar a alternativa que ofereça mais vantagem sobre as demais.

O método será melhor explicado no capítulo de proposição do protocolo.



# 4 INSTALAÇÕES PROVISÓRIAS DO CANTEIRO

O canteiro de obras é o ambiente onde é realizada a principal atividade da construção civil que é a execução do empreendimento, além de ser o momento e local de maior interação entre elementos da cadeia produtiva.

Existem diferentes locais no canteiro que são denominados como “Instalações Provisórias de Canteiro” (IPC) destinadas à realização de serviços administrativos, operacionais e áreas de vivência (ABNT, 1991).

No Brasil, este tipo de construção é regulamentado pela NR-18 - Condições e meio ambiente do trabalho na indústria da construção (BRASIL, 2015). Dentre os ambientes descritos, encontram-se as instalações sanitárias, cozinhas, vestiários, refeitórios, ambulatórios, alojamentos, lavanderias e áreas de lazer. Apesar da existência da NBR 12.284 - Áreas de Vivência em Canteiros de Obras (ABNT, 1991), a NR-18 tornou-se mais aplicada e mais atual devido à obrigatoriedade e constância da fiscalização pelos agentes do Ministério do Trabalho.

De acordo com Dias e Serra (2013), as instalações provisórias ou construções temporárias podem ser entendidas como aquelas que servem de suporte para as atividades da obra e que são previstas para serem removidas ao fim da fase de execução.

Observa-se que as IPC abrigam atividades que podem exigir a permanência prolongada de pessoas, tais como escritórios, salas de reunião e almoxarifados. Para isso, os ambientes devem estar em boas condições de habitabilidade respondendo a determinados requisitos de desempenho e salubridade.

Apesar do alto crescimento e possibilidade de materiais alternativos e tecnologias, pode-se afirmar que são poucas as construtoras que investem em desempenho no que se refere às IPC, pois, muitas vezes uma melhor qualidade implicam em custo mais elevado e as empresas construtoras avaliam este investimento como um gasto desnecessário. Por outro lado, os fabricantes apresentam diversas tipologias de IPC existentes visando melhorar as características do setor da construção como um todo (DIAS e SERRA, 2017).

Para a seleção da melhor tipologia de IPC, as construtoras deveriam privilegiar não somente o preço do componente, mas também a qualidade do produto no período de uso da edificação provisória visto que a durabilidade é um fator determinante do custo e do uso funcional das construções provisórias, que deve ser baseada na duração da obra, clima da região, requisitos de desempenho, disponibilidade de materiais e possibilidade de reaproveitamento (SAURIN e FORMOSO, 2006).

Reis, Souza e Oliveira (2004) salientam que a expressão provisória, não deve ser confundida com um processo precário de concepção, principalmente por essas construções serem essenciais no início e durante as atividades de um canteiro de obras. No entanto, as empresas de engenharia civil têm apresentado certo descaso quanto à qualidade das instalações temporárias, sendo que estas, em grande parte das obras, são executadas de qualquer maneira e por mão de obra tecnicamente desqualificada.

Outra análise diz respeito às recomendações dos selos de certificações de sustentabilidade que apresentam diversas abordagens de requisitos para serem atendidos nos canteiros de obras, inclusive em relação ao conforto ambiental e às instalações provisórias.

O programa de certificação do selo LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) - Liderança em Projeto de Energia e Ambiental é um sistema de classificação criado pelo conselho norte-americano *United States Green Building Council* (USGBC) e conta com diversas avaliações relacionadas ao canteiro de obras e sua relação com o conforto, tal como: “Energia e atmosfera” e “Qualidade ambiental interna” (ZEULE, 2014).

O selo de certificação AQUA (Alta Qualidade Ambiental) foi desenvolvido baseado no selo francês HQE (*Haute Qualité Environnementale*) e adaptado às necessidades brasileiras pela Fundação Carlos Alberto Vanzolini (FCAV, 2013). Possui um item específico para avaliação do conforto dos usuários no canteiro de obras e suas instalações relacionadas aos seguintes aspectos: confortos higrotérmico, acústico, visual e olfativo.

O Selo Casa Azul é um instrumento de classificação socioambiental de projetos de empreendimentos habitacionais, que busca reconhecer os que adotam soluções mais eficientes aplicadas à construção, ao uso, à ocupação e à manutenção das edificações, objetivando incentivar o uso racional de recursos naturais e a melhoria da qualidade da habitação e de seu entorno, financiado pela Caixa Econômica Federal (CEF, 2010). Os critérios de avaliação são

divididos em seis categorias principais, sendo um deles referente ao “Projeto e Conforto” do ambiente.

Degani (2010) afirma que a escolha de materiais, soluções e instalações provisórias devem ser orientadas por diversos aspectos: social, econômico, saúde, segurança e conforto dos usuários – e não apenas por características sustentáveis. Segundo a autora, a tomada de decisão não pode ser puramente ecológica, tem que estar pautada na integração entre os produtos, sistemas, elementos e processos produtivos, direcionando-se, principalmente, para o desempenho final da edificação.

A partir somente desses aspectos, pode-se mencionar a complexidade de gestão deste ambiente de trabalho e a quantidade de itens que precisam ser observados durante a concepção e operação do canteiro de obras e suas instalações provisórias.

Mesmo sabendo-se a frequência de construção das instalações provisórias e o seu ciclo de produção (montagem, uso, desmontagem e reaproveitamento), não se encontram muitos estudos voltados para o desenvolvimento sustentável do processo de projeto deste elemento do canteiro de obras. Arslan e Cosgun (2008) verificaram que, para melhorar o desempenho das instalações emergenciais ou temporárias, a indústria necessita explorar os aspectos ambientais destas construções ao longo das suas fases de existência no local.

Com a variedade de soluções para IPC ditas anteriormente, o que se pode verificar é que não há regras absolutas para a seleção de materiais e componentes. Para Oliveira (2009), definir o que vem a ser a “correta” seleção será um desafio pela variedade de fatores que passam a ser considerados, tamanha a complexidade e a gama de conhecimentos necessários.

Sproul *et al.* (2014) apresentam um estudo para a seleção de melhores coberturas do ponto de vista econômico, analisou coberturas brancas, verdes (com vegetação), e pretas nos Estados Unidos. Usando a ferramenta *Life Cycle Cost Analysis* (LCCA) e considerando o custo do ciclo de vida dos telhados por 50 anos, concluíram que a escolha da cobertura branca é a melhor opção levando em conta os dados do estudo, e lembram que cada caso é diferente, pois, mudam os padrões de chuva de verão, o clima, os preços da energia, e taxas de administração de águas pluviais e políticas, porém, deve-se sempre basear nas preocupações ambientais e sociais do tomador de decisão (SPROUL *et al.*, 2014).

Peralta (2006) avaliou o desempenho térmico em telhas de aço, fibrocimento, cerâmica e material reciclado (embalagens longa vida), por meio do monitoramento de células testes na cidade de São Carlos no Brasil, encontrando-se a necessidade de tratamento superficial externo para melhor desempenho térmico.

Assim, entende-se que o local em que as avaliações para a seleção de materiais são feitos influenciam diretamente nos resultados obtidos, sendo uma dificuldade de padronização para a atividade.

Desta forma, a seguir é descrita a vigência normativa dessas instalações e suas diversas tipologias que vem se aderindo às novas tecnologias pensando no melhor desempenho e conforto aos usuários.

#### **4.1 Tipos de instalações provisórias de canteiro de obras**

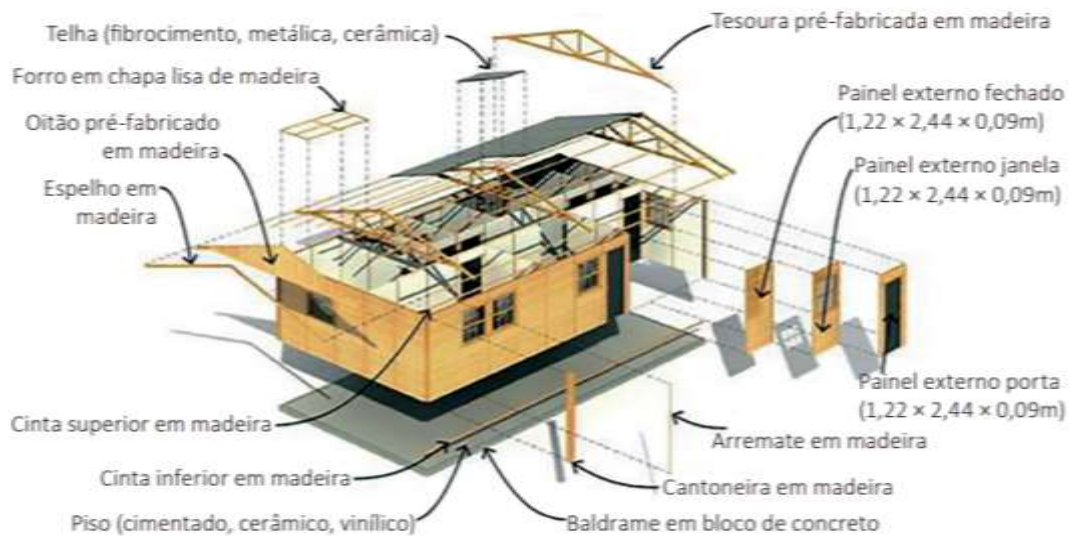
No Brasil, as IPC são construídas em sua maioria com madeira. Ocorrem várias situações improvisadas e precárias de IPC feitas com materiais de baixa qualidade, sobras de empreendimentos anteriores que estão em más condições de uso, mas há também bons exemplos, como modulações e uso de materiais reciclados e alternativos sustentáveis.

De acordo com Dias e Serra (2017), o sistema de pré-fabricados em madeira baseia-se na industrialização dos componentes formados por múltiplos painéis modulados, autoportantes, entregues prontos na obra. No caso das instalações provisórias pré-fabricadas em madeira, os componentes padrões do projeto da construção temporária podem ser observados na Figura 6.

De acordo com Boff (2014), quando bem tratada, cerca de 70% da madeira pode ser empregada em outras obras, mas a necessidade de manutenção é maior.

Após a utilização, as instalações pré-fabricadas de madeira podem ser desmontadas e remontadas em outros canteiros de obra. O sistema pode apresentar vida útil de 20 anos, contanto que sejam tomados cuidados com a integridade do produto durante a montagem, desmontagem, armazenagem e transporte, segundo Boff (2014).

**Figura 6** – Componentes de uma instalação provisória pré-fabricada em madeira



**Fonte: Boff, 2014.**

No Brasil, essas instalações, na maioria das vezes, são feitas de chapas de madeira compensada e de chapas metálicas, Figura 7 e Figura 8 a seguir. Com isso visa aumentar o seu reaproveitamento e facilitar a sua montagem e desmontagem, sendo constituído de módulos de chapa de compensado resinado, ou chapas metálicas fixadas com parafusos, dobradiças ou encaixes.

**Figura 7** – Instalações provisórias de chapas compensada de madeira



**Fonte:** <http://www.canteiro.com.br/padroes.html#content>

Na Figura 7 anterior, a instalação é da empresa Canteiro, que produz instalações provisórias para canteiros de obras. A estrutura da cobertura é feita com tesouras de Pinus ou Eucalipto e conectores de garra metálicos, telhas de fibrocimento podendo ser substituídas por cerâmicas

ou metálicas, sendo os forros chapas de OSB podendo ser substituído por PVC ou madeira (CANTEIRO, 2016).

**Figura 8** – Instalações provisórias de chapas metálicas



Fonte: <http://soldatopo.com.br/site/?produtos=barracoes-metalicos-sodatopo>

A Figura 8 anterior exibe a instalação de chapas metálicas, feita em estrutura metálica e telha metálica. A solução é geralmente composta por uma estrutura metálica leve e painéis de chapas metálicas com enchimento de poliuretano.

As opções em chapas metálicas podem ser de diversos tipos, dentre eles destacam-se os módulos tipo contêineres. Dias e Serra (2017) comentam sobre a durabilidade dos contêineres serem estimada pelos fabricantes em cerca de 20 anos, podendo ser reutilizado várias vezes. O menor peso do produto faz com que o contêiner não necessite de fundações, sendo necessário apenas um local nivelado e compactado. Porém, o inconveniente desse tipo de estrutura refere-se ao desconforto térmico, amenizados a partir da utilização de painéis isotérmicos tanto nas paredes quanto na cobertura ou o uso de ar condicionado (DIAS e SERRA, 2017).

Entretanto, apesar do uso frequente das chapas de madeiras e metálicas utilizadas em instalações provisórias de canteiro, observa-se a existência de diferentes materiais alternativos. De uma forma geral, pode-se afirmar que o setor apresenta preocupação com a introdução de novas tecnologias sustentáveis, abrangendo materiais, componentes e o processo de projeto (DIAS e SERRA, 2017).

As chapas de madeiras compensadas descritas anteriormente podem também ser substituídas por chapas recicladas feitas a partir das chapas de madeiras misturas com resíduos de outros materiais. A Figura 9 seguinte ilustra uma instalação feita a partir de chapas de madeira reciclada.

**Figura 9** – Instalações Provisórias de chapas recicladas



**Fonte: ZEULE, 2014.**

Citando a reciclagem, as IPC podem também ser produzidas com chapas formadas por reaproveitamento de embalagens tipo Longa Vida, PEBD (Polietileno de Baixa Densidade) reciclado, de tubos de creme dental, fibras vegetais, entre outros. Ou seja, podem ser admitidos diversos tipos de fechamentos laterais das instalações provisórias do canteiro, sendo que esses materiais também podem ser utilizados como tapumes e, em alguns casos, como as próprias telhas das instalações provisórias.

As instalações provisórias também podem ser feitas de forma não tão “provisórias”, construídas em alvenaria (Figura 10). As vantagens são conforto térmico e acústico, e a desvantagem é que se a edificação não for reaproveitada terá que ser demolida ao fim da execução da obra gerando resíduos.

**Figura 10** – Instalações Provisórias em alvenaria



**Fonte: ZEULE, 2014.**

Existe o uso de contêineres metálicos como instalações provisórias nos canteiros de obras (Figura 11), sendo esta uma prática habitual em países desenvolvidos e uma alternativa adotada em obras de montagem industrial e grandes empreendimentos.

**Figura 11** – Instalações provisórias em contêineres



**Fonte: Autora, 2016.**

As dimensões usuais dos contêineres encontrados no mercado apresentam altura útil de 2,50 m, largura de 2,4 m e comprimento variável, frequentemente baseado na modulação de 3m, ou seja, podem ser encontrados produtos com 3, 6 e 9 m de comprimento (COSTA e PRADO, 2014).

Talvez o principal problema sentido pelos operários com relação ao uso deste tipo de instalação sejam as temperaturas internas muito altas nos dias mais quentes. Tendo em vista a minimização deste problema, algumas medidas simples podem ser adotadas: como pintura externa em cor branca, execução de telhado sobre o contêiner e uma ventilação natural de, no mínimo, 15% da área do piso, composta por duas aberturas (SAURIN e FORMOSO, 2006).

De acordo com Costa e Prado (2014), alguns dos produtos disponíveis no mercado possuem um forro de 2 cm de poliestireno expandido (EPS) junto à superfície interna da cobertura, cuja função é o isolamento térmico, acrescido de uma chapa dura de material derivado de madeira, com espessura de 2,5 mm, para melhoria da qualidade do acabamento.

Existe também a opção de instalações provisórias em placas de Polietileno Reciclado com isolante em isopor (Figura 12). Esta solução apresenta-se como inovadora e com utilização de materiais de baixo impacto ambiental.



**Figura 12** – Instalações provisórias em polietileno reciclado



**Fonte:** ZEULE, 2014.

Na estrutura de suporte são fixados verticalmente perfis “H” em policloreto de vinila (PVC) reforçados com aço em seu interior, estes elementos permitem o deslizamento das placas, que recebem perfis “H” horizontais também em PVC o que confere a ligação das peças e aumenta a rigidez estrutural. Por fim, são colocadas guias metálicas na parte superior dos perfis verticais, cujas funções são interligar os elementos, distribuir as cargas da cobertura uniformemente pelas paredes e posicionar o forro em placas de PVC (DIAS, 2013).

Os ensaios de desempenho realizados nesta tipologia de instalações conferiram que o sistema apresenta bom desempenho quanto à resistência aos impactos externos e possui bom conforto térmico (DIAS, 2013).

Outra solução são as construções provisórias em concreto celular autoclavado que são conhecidas por necessitar apenas de uma pequena fração da energia e de matérias-primas despendidos na fabricação de outros materiais de vedação, conforme Figura 13.

O painel de concreto celular autoclavado é obtido através de uma mistura de agregados finos, cimento, cal e pó metálico de zinco ou alumínio. Uma reação química ocorre quando estes interagem com o cimento alcalino gerando gases, de modo a promover um aumento no volume e uma aeração na estrutura do material, cujo endurecimento é conseguido por meio da autoclave, ou seja, sob pressão de vapor. A alta porosidade confere ao painel, ótimas características de isolamento termo acústico e considerável resistência mecânica, apesar de ser mais leve que o convencional (DIAS, 2013).

**Figura 13** – Instalações provisórias em concreto celular autoclavado



Fonte: <http://www.novoespaco.com.br/edificacoes-concreto-celular/>

Saurin e Formoso (2006) mencionam que independentemente do sistema construtivo utilizado, devem ser considerados os seguintes critérios de análise para a seleção dos componentes das IPC: custos de aquisição, custos de implantação, custos de manutenção, reaproveitamento, durabilidade, facilidade de montagem e desmontagem, isolamento térmico e impacto visual.

Neste aspecto, Saurin (1997) aposta na padronização do projeto das instalações de canteiro como uma estratégia a ser utilizada por empresas que constroem obras com tipologias semelhantes, onde as construções temporárias podem possuir características idênticas em todos os empreendimentos, ao passo que sejam respeitadas as particularidades de cada *layout*. Para o autor, esta padronização é ambientalmente justificada e recomendada devido à repetição do ciclo das instalações, independentemente da tecnologia empregada, podendo trazer os seguintes benefícios:

- Diminuição das perdas de materiais devido ao reaproveitamento;
- Fim do imprevisto, por existirem diretrizes definidas em obras anteriores;
- Facilidade no planejamento de novos *layouts*;
- Conformidade com as normas vigentes;
- Melhoria das condições de trabalho;
- E, conseqüentemente, melhoria da imagem da construtora no mercado.

## **4.2 Legislação de segurança e saúde do trabalho nos canteiros de obra**

A Norma Regulamentadora NR-24: Condições Sanitárias e de Conforto nos Locais de Trabalho apresenta uma série de requisitos para vários ambientes que possuem permanência dos trabalhadores (BRASIL, 1993). Mais específica para a construção civil, a NR-18 apresenta as condições mínimas de segurança e saúde do trabalho para canteiros de obras, conforme estabelecidas pelo Ministério do Trabalho inclusive das áreas de vivência, local em que há um tempo de permanência maior dos operários (BRASIL, 2015).

Neste contexto, a partir da obrigatoriedade de implantação de áreas de vivência, regulamentadas pela NBR 12.284 (ABNT, 1991) e NR-18 (BRASIL, 2015), as construções provisórias são fiscalizadas pelo Ministério do Trabalho, pois se trata de permanência humana de trabalho em ambientes descritos em ambas as normas como instalações sanitárias, cozinhas, vestiários, refeitórios, ambulatórios, alojamentos, lavanderias e áreas de lazer.

De acordo com a definição da NR-18, as áreas de vivência (refeitório, vestiário, área de lazer, alojamentos e banheiros) são áreas destinadas a suprir as necessidades básicas humanas de alimentação, higiene, descanso, lazer e convivência, devendo ficar fisicamente separadas das áreas laborais (BRASIL, 2015).

Esta norma também exige, tendo em vista as condições de higiene e salubridade, que estas áreas não sejam localizadas em subsolos ou porões de edificações. Já as áreas de apoio (almoxarifado, escritório, guarita ou portaria e plantão de vendas) compreendem aquelas instalações que desempenham funções de apoio à produção, abrigando funcionário(s) durante a maior parte ou durante todo o período da jornada diária de trabalho, ao contrário do que ocorre nas áreas de vivência, as quais só são ocupadas em horários específicos.

Para sua implantação é necessário levar em consideração fatores imprescindíveis como qualidade, produtividade e segurança. Entretanto, um dos desafios encontrados pelas empresas é a construção das IPC em conformidade, sobretudo em áreas urbanas de dimensões reduzidas.

Além disso, a NR-18 também se restringe, em muitas ocasiões, ao detalhamento dimensional das instalações, falhando pelo não estabelecimento de critérios mínimos de desempenho que estas deveriam atender. Isso compromete a avaliação de sistemas alternativos, por não existirem parâmetros definidos que permitam sua comparação com as soluções inovadoras (SAURIN e FORMOSO, 2006).

Para Kowaltowski *et al.*(1998), é importante que se compreenda a relação da produtividade e da qualidade de vida com o conforto no ambiente de trabalho. Por isso, o ambiente deve ser projetado no sentido de harmonizar os diferentes critérios e indicadores da segurança, mas também do conforto na busca da melhor solução de conjunto, segundo as exigências específicas de cada caso. Para que o projeto seja bem concebido é fundamental entender também os fenômenos físicos atuantes durante a construção.

Os canteiros de obra normalmente estão sujeitos a diferentes situações e condições de trabalho. Os autores Lopes, Baptista e Diogo (2008) classificaram o ambiente da obra como “ambiente não controlado” com alta interferência na qualidade de vida e no rendimento direto do trabalho.

Justificando a citação anterior, segundo Lopes, Baptista e Diogo (2008), o ambiente da construção civil possui diferenças significativas nas condições de trabalho em relação ao nível do ambiente térmico, tanto no longo do dia como nas diferentes fases de execução da obra.

### **4.3 A Norma de Desempenho de Edificações**

A discussão sobre o tema qualidade e desempenho acontece há mais de uma década no Brasil, fazendo com que houvesse avanços significativos tanto na qualificação e aprimoramento de seu conteúdo, quanto no envolvimento e resolução consensual dos agentes interessados e na adequação a realidade do país, levando em conta o seu estágio técnico e de desenvolvimento socioeconômico (CBIC, 2013).

A Norma de Desempenho de Edificações NBR 15.575 (ABNT, 2013a) nos quesitos referentes à sustentabilidade vem propor mais atenção em relação à durabilidade, à manutenibilidade e à adequação ambiental dos sistemas utilizados para construção. Também menciona que os materiais devem ser considerados, pois “quanto maior a sua durabilidade, menor a exploração de recursos naturais, renováveis ou não, menor o consumo de água e de energia, menor o teor de poluentes gerados nas fábricas e no transporte das matérias-primas e dos produtos”.

Assim, torna-se importante o estudo dessa norma com foco para alguns materiais considerados sustentáveis ou inovadores, e que possam/ou estejam sendo utilizados em edificações permanentes, ou mesmo temporárias. A seguir, a Figura 14 ilustra o que se espera do setor da construção civil em relação ao uso dessa norma de desempenho, conforme proposta de Covelo Silva (2013).

**Figura 14** – Etapas para garantir o desempenho dos sistemas com base na NBR 15.575



Fonte: Adaptado de COVELO SILVA (2013).

Nota-se, portanto, a preocupação com o planejamento anteriormente ao processo de construção, pois, um dos maiores problemas que o setor encontra é a falta de cumprimento desta etapa. Assim, como o processo produtivo precisa de planejamento, a escolha de materiais, produtos, tecnologias e processos também carece desta atenção, visto que, na abordagem da questão de uso e emprego de materiais que foram reciclados nas construções há falta desta percepção.

A NBR 15.575 conta com critérios de avaliação e cita a importância de determinar o ciclo de vida dos produtos: “quanto maior a sua durabilidade, menor a exploração de recursos naturais, renovável ou não, menor o consumo de água e de energia, menor o teor de poluentes gerados nas fábricas e no transporte das matérias-primas e dos produtos” (ABNT, 2013a). Esta norma conta com seis partes: requisitos gerais; requisitos para os sistemas estruturais; requisitos para os sistemas de pisos; requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas; requisitos para os sistemas de coberturas; e requisitos para os sistemas hidrossanitários.

A NBR 15.775 (ABNT, 2013a) apresenta os critérios mínimos e as diretrizes necessárias para o desempenho das edificações habitacionais, tais como: desempenho estrutural; segurança contra incêndio; segurança no uso e na operação; estanqueidade; desempenho térmico; desempenho acústico; desempenho luminoso; durabilidade e manutenibilidade; saúde, higiene e qualidade do ar; funcionalidade e acessibilidade; conforto tátil, visual e antropodinâmico; adequação ambiental: gestão de resíduos, gestão da energia, gestão da água e escolha de materiais.

O conjunto normativo traz como novidade o conceito de comportamento em uso dos componentes e sistemas das edificações, sendo que a construção habitacional deve atender e cumprir as exigências dos usuários ao longo dos anos:

promovendo o amadurecimento e melhoria da relação de consumo no mercado imobiliário, na medida em que todos os participantes da produção habitacional são incumbidos de suas responsabilidades; projetistas, fornecedores de material, componente e/ou sistema, construtor, incorporador e usuário(CBIC, 2013).

Por sua vez, as Normas de Desempenho traduzem as exigências dos usuários em requisitos e critérios, e são consideradas como complementares às Normas prescritivas, sem substituí-las. A utilização simultânea delas visa atender às exigências do usuário com soluções tecnicamente adequadas(ABNT, 2013a).

A Norma de Desempenho de Edificações foi elaborada para construções permanentes como o próprio título expõe, e não para instalações provisórias como as existentes em canteiros de obras. Porém, alguns estudos brasileiros já têm sido realizados com aplicação desta norma para as instalações provisórias do canteiro de obras, como Cardoso, Rodrigo e Soares(2017).

De acordo com a NBR 15.575-1 (ABNT, 2013a) os itens apresentados como exigências dos usuários que devem ser atendidos e utilizado como referência para o estabelecimento dos requisitos e critérios são: a) segurança; b) habitabilidade e c) sustentabilidade. Desta forma, todos os componentes e elementos presentes na construção devem assegurar os três itens citados.

A NBR 15.575-1 (ABNT, 2013a) define os termos componente e elemento da seguinte forma:

Componente – “unidade integrante de determinado elemento da edificação, com forma definida e destinada a cumprir funções específicas (exemplos: bloco de alvenaria, telha, folha de porta)” ABNT (2013a).

Elemento – “parte de um sistema com funções específicas. Geralmente é composto por um conjunto de componentes (exemplo: parede de vedação de alvenaria, painel de vedação pré-fabricado, estrutura de cobertura)” ABNT (2013a).

Em sua parte 5, a Norma de Desempenho trata dos requisitos mínimos de desempenho dos sistemas de coberturas, onde alega ser:

a parte da edificação habitacional mais exposta à radiação direta do sol, o sistema de cobertura (SC) exerce predominante influência na carga térmica transmitida aos ambientes (casas térreas e último pavimento de sobrados ou prédios), influenciando diretamente no conforto térmico dos usuários e no consumo de energia para acionamento de equipamentos de ventilação forçada e/ou condicionamento artificial do ar (ABNT, 2013b).

Cardoso, Rodrigo e Soares (2017) apontam que algumas ações são igualmente importantes, tais como: melhorar a qualidade do ambiente construído, reduzir desperdício no canteiro de obras, aumentar a durabilidade e diminuir a manutenção dos materiais e componentes e gerenciar os processos envolvidos.

John (2000) coloca a especificação consciente dos materiais utilizados como “ações necessárias” aos impactos perceptíveis causados pela construção civil, que consiste numa indústria itinerante e de rotinas próprias, mas que ainda ignora o entorno (de uma obra) e padece de falta de gestão, quando não, burla a legislação. Elenca também a necessidade de respeito às leis, resoluções e restrições urbanísticas; realização de pesquisa e diagnóstico; reutilização, segregação na origem e reciclagem.

Convém esclarecer que, apesar de influenciarem desempenho com relação a vários itens de sustentabilidade, recomendações práticas ou diretrizes para a seleção de materiais, produtos e sistemas não são indicadores. Indicadores possuem natureza mais genérica, enquanto os valores a eles atribuídos são específicos para cada caso (SILVA, 2007).

O Guia CBIC (2013) é orientativo para atendimento à norma NBR 15.575 (ABNT, 2013a) e cita a importância relevante do ciclo de vida dos produtos, “quanto maior a sua durabilidade, menor a exploração de recursos naturais, renováveis ou não, menor o consumo de água e de energia, menor o teor de poluentes gerados nas fábricas e no transporte das matérias-primas e dos produtos”.

#### **4.4 Coberturas leves para IPC**

A cobertura em uma edificação tem a função de garantir proteção contra a chuva, ventos e insolação. Na elaboração de um projeto arquitetônico, a definição do tipo de cobertura que será utilizada e sua forma deve ser umas das primeiras preocupações. Seu custo normalmente varia entre 8% a 12% do custo total da obra (PRADO FILHO, 2014).

Os tipos de telhas utilizadas para a cobertura leve de IPC são inúmeras, mas se verifica que não adotados critérios para a seleção inadequada de materiais para as construções temporárias. Muitas vezes, são reutilizadas de processos de demolição, ou até mesmo são adquiridos produtos de baixa qualidade que não oferecem condições boas de trabalho para quem utiliza as IPC. Em outras vezes são utilizadas telhas novas, como as de fibrocimento, mas que desconsideram aspectos que interfiram na saúde e conforto dos usuários.

Existem também telhas com componentes reciclados que, além do baixo custo de algumas opções, representam também o fator da preocupação da empresa no emprego de materiais reciclados/sustentáveis. De modo geral, utilizam-se também as telhas em aço galvanizado que vencem vãos maiores. Por fim, apesar de pouco empregada, vem ganhando destaque no

mercado pela leveza, colorido e fácil manuseio existem também as telhas de PVC (policloreto de vinila).

As Figuras seguintes 15 e 16 exibem IPC encontradas na cidade de São Carlos/SP para demonstrar o emprego das tipologias de telhas utilizadas nesta pesquisa.

**Figura 15 – Tipos de coberturas em IPC**



- a) IPC com fechamento em compensado de madeira, cobertura em fibrocimento e tapumes com telhas recicladas
- b) IPC com fechamento, cobertura e tapumes de telha reciclada

**Fonte: Autora, 2018.**

**Figura 16 – Tipos de coberturas em IPC (II)**



- a) IPC em boas condições, fechamento em chapas de compensado de madeira, cobertura em fibrocimento.
- b) IPC em condições ruins, feita com sobras de madeiras e cobertura em aço galvanizado.

**Fonte: Autora, 2018.**

A seguir são apresentadas as características dos materiais selecionados e de produção das telhas utilizadas nesta pesquisa.

Para levantamento de informações sobre as telhas utilizadas neste estudo, foi elaborado questionário (Apêndice A) com perguntas sobre sistema de produção, transporte, características



físicas, entre outras, e submetidas para os respectivos diretores das fábricas colaboradoras com a pesquisa.

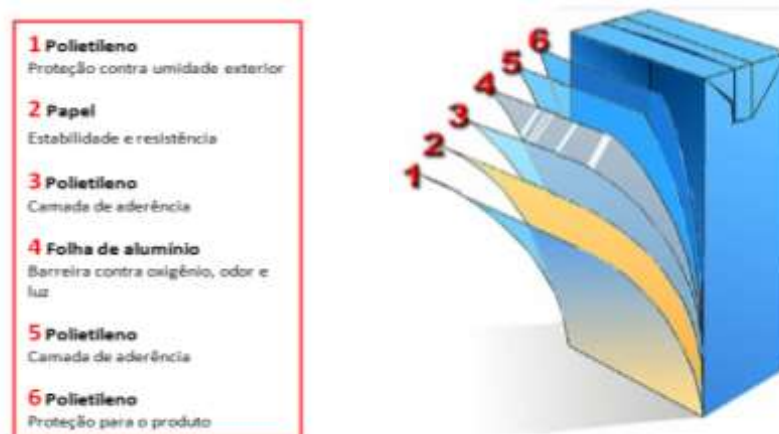
#### 4.4.1 Telha com conteúdo reciclado de polietileno-alumínio

As embalagens Longa Vida, ou Tetrapak<sup>®</sup> são formadas por caixas também chamadas de Cartonadas, ou Multicamadas, conhecidas por armazenarem vários tipos de alimentos industrializados como leite, sucos, vitaminas. O termo “Longa Vida” deve-se ao fato do alimento poder ser preservado em seu interior por um longo período, aproximadamente seis meses, sem precisar de refrigeração (CUNHA, 2011). Para essa proteção, as embalagens são fabricadas com três materiais (Figura 17), distribuídos nas camadas:

- 75% Papel: cartão duplex;
- 20% Plástico: polietileno de baixa densidade;
- 5% Metal: lâmina de alumínio.

Existem estudos, como o de Araújo, Morais e Altides (2008) e Silva *et al.* (2015) que comprovam as qualidades das telhas produzidas com este tipo de resíduo, inclusive destacando a possibilidade de utilização convencional das mesmas. Apresentam também algumas vantagens, como melhoria nos índices de conforto e de resistência à tração.

**Figura 17** – Multicamadas das embalagens Longa Vida



**Fonte:** Eco Desenvolvimento (2009) citado e adaptado de CUNHA (2011).

A matéria-prima das telhas recicladas é formada por resíduos de polietileno contendo alumínio que é triturado em pequenos fragmentos usando-se moinhos de faca (ARAÚJO, MORAIS e ALTIDES, 2008). A redução do tamanho do material facilita sua fusão e dá ao produto acabado maior homogeneidade. Na composição do Polietileno de Baixa Densidade (PEBD) e do

alumínio, o papel não entra no material, ficam em fábricas de papel para também serem reciclados em outros tipos de produtos.

Foi acompanhado o processo de produção deste tipo de telha, obtidas a partir dos resíduos das embalagens Longa Vida, em uma fábrica localizada na cidade de Ibaté, SP. A Figura 18 seguinte apresenta sucintamente o processo de produção acompanhado pela pesquisadora na fábrica das telhas recicladas.

O produto final é uma telha (Figura 19) com 2,20 m de comprimento e 0,92 m de largura, 6 mm de espessura e peso de 14 kg por peça. As telhas recebem um registro identificando as especificações de lote e as informações obtidas com o fabricante.

**Figura 18** – Processo de fabricação das telhas recicladas de PEBD



a) A matéria-prima que chega na fábrica é o alumínio e o plástico das embalagens cartonadas, pois o papel é extraído em fábrica de celulose.



b) A matéria-prima é moída e prensada com resinas em formas nas dimensões finais das telhas, tornando-se chapas lisas.



c) Depois recebem uma película de alumínio virgem na face externa e outras duas películas de polietileno na face interna e externa e são levadas para a prensa térmica.



d) Saindo da prensa, vão para a mesa onde tem uma forma de telha em baixo, e em cima da chapa ainda quente coloca-se tubos metálicos para fazer o formato ondulado.

**Fonte: Autora, 2016.**

**Figura 19** – Telha com conteúdo reciclado de polietileno-alumínio



**Fonte: Autora, 2016.**

No momento da visita foram observados os certificados da empresa e dos materiais utilizados, no qual o produto “telha” apresentou bons níveis de desempenho, em relação aos ensaios de determinação da absorção de água, impermeabilidade, flexão estática, desempenho térmico e resistência à tração.

#### **4.4.2 Telha em aço galvanizado natural ondulada**

As telhas metálicas onduladas produzidas em aço galvanizado zincado e aço galvalume pré-pintadas são telhas metálicas sem pintura, produzidas a partir de uma chapa de aço revestida por uma fina camada de proteção, formada por zinco puro (chapa galvanizada), ou por uma liga de zinco+alumínio+silício (chapa galvalume) (Associação Brasileira da Construção Metálica (ABCEM, 2009).

Os perfis trapezoidais ou ondulados são fabricados a partir de bobinas de aço previamente zincadas, por meio de um processo contínuo em equipamentos de rolos de perfilação. Nesse método de fabricação, a bobina de aço é desenrolada a uma velocidade de até 60 metros por minuto; a seguir, a telha é perfilada, cortada no comprimento, empilhada e finalmente embalada. Estes perfis podem ser fabricados com até 12 metros ou mais de comprimento (ABCEM, 2009).

De acordo com Nakamura e Figuerola (2012), as tecnologias empregadas na construção de coberturas metálicas evoluíram. Telhas mais leves e resistentes permitem vencer vãos cada vez maiores, reduzindo a complexidade da estrutura de apoio. Os sistemas de fixação também apresentam avanço, evitando, ao máximo, problemas de estanqueidade.

As telhas metálicas têm sido muito empregadas em instalações provisórias de canteiros de obras, por oferecer bom acabamento, opções de isolamento térmico, acústico, forro integrado, competindo forte com o fibrocimento. A Figura 20 a seguir exibe a telha usada na pesquisa, ondulada natural (sem pintura) possui largura fixa de 1,10 m e o comprimento de 2,20 m com espessura de 0,50 mm.

**Figura 20** – Telha natural ondulada em aço galvanizado



Fonte: Autora, 2017.

Não foi possível realizar a visita nesta fábrica e fazer o acompanhamento da produção das telhas. Porém, o contato foi realizado com empresa fabricante localizada na cidade de Piracicaba – SP, e todos os dados solicitados foram fornecidos.

#### 4.4.3 **Telha em Aço Galvanizado Trapezoidal Termoacústica com EPS**

As telhas metálicas trapezoidais produzidas em aço galvanizado zincado e/ou aço galvalume contam com material isolante formando conjuntos termoacústicos, reduzindo a passagem de calor e ruído para o ambiente interno. Podem ser utilizados materiais como poliuretano, poliestireno e lã de rocha como material isolante.

A reciclagem do aço é tão antiga quanto a própria história da utilização do metal. De acordo com Ambiente Brasil (2015), o aço se funde à temperatura de 1300 graus centígrados e assume um novo formato sem perder nenhuma de suas características: dureza, resistência e versatilidade.

Alguns tipos de metal, como o alumínio, podem ser reciclados indefinidamente. Já outros, como o aço, volta para a cadeia produtiva para ser transformado em novos produtos, como latas e peças automotivas. A reciclagem do metal é considerada um processo secundário de obtenção do material. Durante o procedimento é feita a fusão do metal, transformando-o em novos

produtos com um menor consumo de energia em todas as etapas \_ desde a extração do minério até o seu beneficiamento (ECO D, 2010).

A telha usada especificamente nesta pesquisa possui largura fixa de 1,10 m, comprimento de 2,20 m com espessura de 0,50 mm, e uma camada de Poliestireno Expandido (EPS) de 50 mm de espessura. A Figura 21 mostra a telha estudada.

**Figura 21** – Telha aço galvanizado trapezoidal termoacústica com EPS



Fonte: Autora, 2017.

O fabricante desta telha é o mesmo das telhas em aço galvanizado naturais onduladas, não sendo possível a visita à fábrica.

#### 4.4.4 Telha de fibrocimento

As coberturas com telhas de fibrocimento estão entre as mais utilizadas principalmente na cobertura de edificações comerciais, industriais, rurais e moradias populares, isto se deve, principalmente, ao baixo custo.

A história do fibrocimento no século XVII, o uso do amianto começou a ser difundido em escala comercial. Em 1895, foi descoberto o fibrocimento - uma mistura de cimento, amianto e água - pelo austríaco Ludwig Hatschek. A produção em escala industrial de telhas de fibrocimento firmou-se no mercado em substituição das telhas feitas de ardósia (PRADO FILHO, 2014) ou de amianto (UOL, 2017). A NBR 7.581 - Telha Ondulada de Fibrocimento (ABNT, 2014) estabelece os requisitos para o recebimento de telhas de fibrocimento de seção transversal ondulada e seus complementos, classifica as telhas onduladas de fibrocimento em função de suas características e propriedades e prescreve os métodos de ensaios para controle de fabricação e recebimento do produto. São aplicáveis a telhas onduladas de fibrocimento que

contêm fibras de origem mineral (crisotila) em sua composição, destinadas ao emprego em coberturas e fechamentos laterais.

As telhas utilizadas nesta pesquisa são livres de amianto, substituído por fibra sintética. Não foi realizado o acompanhamento do processo de produção das telhas, mas as telhas são produzidas pelo processo *Hatschek*, e a fábrica informou o seguinte percentual de materiais:

- Cimento: 65 a 75%;
- Calcário: 20 a 30%;
- Celulose: 4 a 8%;
- Fibra sintética: 2 a 4%.

O Processo *Hatschek* inicia-se com uma suspensão de água, cimento, alguns minerais e fibras que são misturados, depois passam por cilindros que retém em seu interior a água excedente, as finas camadas formadas nesses cilindros são agrupadas em um feltro que passa ao longo de caixas de vácuo para retirar o restante da água, as camadas acumuladas seguem para um último cilindro prensando e uniformizando o produto (Negro *et al.*, 2005). O produto final é uma chapa de telha com largura fixa de 1,10 m e o comprimento de 2,44 m com espessura de 6 mm, o peso desta chapa de telha é de 34,4 kg, conforme Figura 22.

**Figura 22** – Telha fibrocimento ondulada



**Fonte:** Autora, 2018.

Não foi possível realizar a visita nesta fábrica e fazer o acompanhamento da produção das telhas. Porém, o contato foi realizado com empresa fabricante localizada na cidade de Leme–SP, e todos os dados solicitados foram fornecidos.

#### 4.4.5 Telha de PVC

O Policloreto de Vinila (PVC) é um termoplástico versátil moldado com uso de aditivos. Composto por 57% em massa de cloro, que é proveniente do sal marinho, e 43% de petróleo e gás natural, recursos estes não renováveis. De acordo com Rodolfo (2006), apenas 0,25% do suprimento mundial de petróleo e gás natural são utilizados para a produção do PVC.

As vantagens das telhas produzidas em PVC destacam-se pela leveza, reciclabilidade do material, versatilidade e o atendimento deste material à NBR 15.575 - Norma de Desempenho em Edificações (ABNT, 2013b) como produto que não propaga fogo, durável, sustentável e com boa vida útil.

Segundo Pereira, De Paulo e Monteiro (2017), outro diferencial importante é que as telhas de PVC se mantêm estáveis às tempestades, granizos e outras intempéries. As peças têm baixíssimos índices de expansão térmica frente às variações de temperatura, tem estabilidade dimensional e a qualidade da cor é superior à das telhas convencionais.

Comprovando isto, o Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade no Habitat (PBQP-H), por meio do Sistema Nacional de Avaliação Técnica (SINAT) que é responsável pela realização de procedimentos para a avaliação de novos produtos para a construção, quando não existem normas técnicas prescritivas específicas aplicáveis ao produto, atestou as telhas plásticas utilizadas na construção civil com a Diretriz SINAT n.º 007 (BRASIL, 2014).

Conforme Amorim (2014), considera-se que entre 45% e 50% de todos os produtos de PVC, são obtidos por processos de moldagem por extrusão. Na saída da extrusão, o material é comprimido contra uma matriz de perfil desejado, a qual dá formato ao produto, podendo o mesmo em seguida ser calibrado, resfriado, cortado ou enrolado.

A produção da telha pesquisada também é realizada por extrusão do PVC, conforme informado pelo fabricante. Em um misturador, são colocados inicialmente a resina PVC, o carbonato de cálcio e os estabilizantes; depois esse composto passa pelo resfriador. Após resfriamento do composto, o produto passa em uma extrusora dupla, que possui um cabeçote para dimensionar a espessura e largura da manta de PVC. Por fim, essa manta passa pelo calandra e conformador para se dar o formato final à telha. O produto final é uma telha com 2,30 m de comprimento e 0,88 m de largura, 2,5 mm de espessura, peso de 9 kg por peça. A Figura 23 exibe a telha utilizada na pesquisa com as características informadas.

Não foi possível realizar a visita nesta fábrica e fazer o acompanhamento da produção das telhas. O contato foi realizado com empresa fabricante localizada na cidade de Leme-SP, e todos os dados solicitados foram fornecidos.

**Figura 23** – Telha colonial em PVC



Fonte: Autora, 2018.

#### **4.5 Contêineres utilizados como IPC**

No contexto das modulações é que se destacam os módulos tipo contêineres, de uso muito comum em IPC na Europa e cada vez mais utilizado no Brasil. De acordo com Cardoso, Rodrigo e Soares (2017), o uso de contêineres metálicos fabricados em aço para abrigo de atividades humanas ocorre no Brasil desde os anos 1980, inclusive em canteiros de obras. Os mesmos autores concordam que houve uma mudança da qualidade dos produtos oferecidos no mercado e se expandiu com o reaproveitamento de contêineres marítimos que se tornaram não mais adequados ao transporte de cargas. Tal uso tem crescido motivado por fatores com impactos econômicos, como a rápida velocidade de montagem, a possibilidade de reuso e os objetivos de sustentabilidade (CARDOSO, RODRIGO e SOARES, 2017).

Os contêineres metálicos utilizados como instalações provisórias de canteiros de obra diferem dos contêineres marítimos quanto ao material de composição e à espessura das paredes. Enquanto os contêineres marítimos são confeccionados em aço corten, com espessura em torno de 1,3 mm, os contêineres para canteiros de obras são compostos predominantemente de aço galvanizado ou Galvalume®, com espessura em torno de 0,65 mm (COSTA e PRADO, 2017).



Para Birbojm e Souza (2002), as vantagens das instalações provisórias como contêineres metálicos é, flexibilidade, possibilidade de reuso, independência da fundação, facilidade de transporte, grande resistência a intempéries, curto tempo de montagem, desmontagem e grande número de arranjos internos, além da possibilidade de empilhamento, que reduz as necessidades de áreas no canteiro. A grande desvantagem, porém, é o pouco conforto, seguido dos custos iniciais mais elevados e limitações de uso do espaço para *marketing* do empreendimento.

De acordo com Costa e Prado (2017), tais instalações possuem inúmeras características ambientalmente adequadas, tais como a longa durabilidade, a possibilidade de reutilização, o baixíssimo grau de geração de resíduos, dentre outras. Os autores realizaram uma pesquisa experimental objetivando avaliar os parâmetros de desempenho, conforto térmico e IBUTG dos contêineres metálicos, como resultado constatou-se que a sensação de insatisfação com o conforto térmico ocorre de 50% a 67% do tempo medido, evidenciando a necessidade de se implantarem melhorias no aspecto térmico dos contêineres metálicos (COSTA e PRADO, 2017).

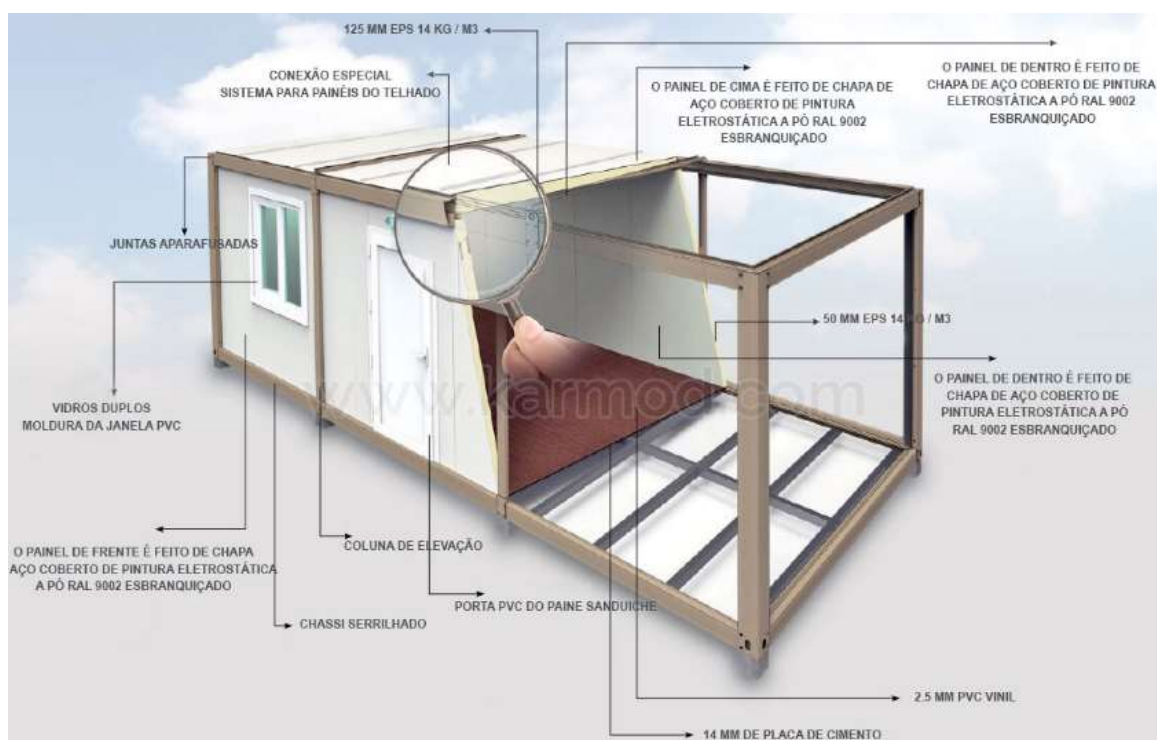
Com relação aos fatores de desempenho dos contêineres é necessário conhecer o tipo de material empregado e a região em que será utilizado para atender aos requisitos impostos pela norma mais atual disponível no Brasil, de desempenho em edificações NBR 15.575, e também as normas vigentes de cada localidade.

Rodrigo, Gazarini e Cardoso (2017) tomaram como base a norma NBR 15.575 (ABNT, 2013a) e o documento *European Technical Approval Guidelines (ETAG) 023: Guideline for European Technical Approval of Prefabricated Building Units* (European Organisation for Technical Approvals, 2006), para analisar as diretrizes para a avaliação técnica de módulo tridimensional de aço do tipo contêiner empilhável usado em instalações provisórias para canteiros de obras e trazer elementos que colaborem para o projeto de módulos capazes de atender às novas necessidades do mercado.

De uma forma geral, qualquer tipo de edificação, deve assegurar as exigências dos usuários relativos à segurança, à habitabilidade e contra incêndio; segurança no uso e operação; funcionalidade e acessibilidade; e manutenibilidade; saúde, higiene e qualidade do ar; adequação ambiental - gestão de resíduos; adequação ambiental - gestão da energia; adequação ambiental - gestão da água; adequação ambiental - escolha de materiais (ABNT, 2013a).

Nos países europeus, em geral, é muito comum utilizar os módulos pré-fabricados tipo contêineres para IPC. Os contêineres em aço *corten* (marítimos) são utilizados para armazenagem de materiais, e para as IPC de escritório, refeitório, banheiros, vestiários são produzidos módulos pré-fabricados com o fechamento de chapa de aço pintada com tinta eletrostática ou um tipo de polietileno, ainda pode conter proteção termoacústica com Poliuretano Expandido (EPS), por exemplo, (Figura 24), forro/cobertura de polietileno, piso vinílico, estrutura metálica parafusada com as medidas dos contêineres e de acordo com a norma especificada.

**Figura 24** – Componentes de um módulo pré-fabricado de contêiner para uso em IPC



Fonte: KARMOD, 2017. Disponível em: <http://karmod.com/pt/produtos/especifica%C3%A7%C3%B5es-dos-contentores?>

Antes de se adotar uma tecnologia diferenciada para as construções provisórias, é necessário um estudo de viabilidade. Reis, Souza e Oliveira (2004) recomendam uma análise criteriosa dos reais benefícios gerados pelos novos sistemas. Desta forma, os aspectos econômico, social e ambiental sempre serão levados em conta no momento da seleção dos materiais.

A seguir, são expostas as características das três tipologias de contêineres para IPC em Portugal. Apesar de terem sido encontradas e visitadas as tipologias *Flat Pack* e marítimo, é importante adicionar o termoacústico para efeitos de comparação.

#### 4.5.1 Contêiner Flat Pack

Fabricados para atender várias indústrias, inclusive da construção civil, os módulos desmontáveis possuem estrutura metálica e fechamento em polietileno (sistema *Flat Pack*). Além disso, possui piso vinílico, forro, instalações embutidas e opções de sistemas de coberturas. A Figura 25 mostra um exemplo deste tipo de contêiner.

Essas tipologias de contêineres utilizados como escritório de obra, refeitório, banheiros, vestiários são contêineres desmontáveis fabricados especificamente para o uso de construções temporárias, podendo ser facilmente produzidos módulos como o cliente necessita, seja *stand* de vendas, portarias, cantinas ou escritórios.

**Figura 25** – Módulo tipo *Flat Pack*



**Fonte:** Google imagens

#### 4.5.2 Contêiner Marítimo

Os contêineres marítimos em aço *corten* (contraplacado marítimo), são utilizados para transportar cargas em navios, para ser usado em outras atividades passam por inspeção e controle de qualidade. A Figura 26 mostra um exemplo deste tipo de contêiner. Em canteiros de obra, são muito utilizados para os almoxarifados, pois é mais seguro e robusto evitando possíveis furtos de ferramentas e materiais menores.

**Figura 26** – Contêiner marítimo



Fonte: Google imagens

#### 4.5.3 Contêiner Termoacústico

Esses contêineres podem ser com fechamento metálico ou de polietileno com isolamento de EPS, lã de rocha, lã de vidro, e composto por estrutura metálica. Esse material é difundido com painéis sanduíches, conhecidos por melhorarem as condições térmicas e acústicas. Um exemplo deste tipo de contêiner pode ser verificado na Figura 27.

**Figura 27** – Contêiner termoacústico



Fonte: Google imagens

Assim, nota-se novamente a importância de uma adequada seleção de materiais e / ou sistemas construtivos para as IPC. Portanto, considerou-se pertinente avaliar quais os fatores e critérios estabelecidos pelas construtoras em Portugal na seleção de contêineres para IPC e sua aplicação na metodologia de tomada de decisão proposta.

De forma geral, a correta seleção de materiais deve considerar características locais de onde a construção será realizada. Apesar do surgimento de novas tecnologias em materiais, o problema do mau desempenho térmico em construções no Brasil é recorrente, sendo o maior problema encontrado no uso do módulo tipo contêiner.

De tudo que foi demonstrado neste capítulo, pode-se mencionar que é necessário formalizar o conhecimento sobre o processo de seleção das diversidades de alternativas de produtos e componentes para uso e concepção das IPC. Apesar do uso intensivo de IPC junto às obras de construção civil, as condições do ambiente de trabalho precisam ser mais estudadas.

## 5 METÓDOS E TÉCNICAS

Segundo Gil (2008), o tipo desta pesquisa **quanto ao seu objetivo** é definida por pesquisa exploratória, que através da maior familiaridade com o problema, deve torná-lo mais explícito. Assim, também é considerado que este tipo de pesquisa “permite ao investigador aumentar sua experiência em torno de um determinado problema” (LEOPARDI, 2002).

Segundo Ensslin *et al.* (2010), a lógica de pesquisa ou linha de raciocínio pode ser dedutiva, indutiva ou uma composição das duas lógicas. Como a presente pesquisa busca o conhecimento por meio do processo científico e, assim, responder sua pergunta de pesquisa, a utilização de uma metodologia multicritérios por sua etapa de estruturação caracteriza esse trabalho como de lógica indutiva. Da mesma forma, após a estruturação do problema, a etapa de avaliação se vale de lógica dedutiva para avaliar as alternativas à disposição do decisor. A presente pesquisa caracteriza-se, então, por utilizar uma composição de lógicas indutiva e dedutiva para o alcance dos seus objetivos (ENSSLIN *et al.*, 2010).

Finalmente, esta pesquisa apresenta uma certa subjetividade, uma vez que, métodos multicritérios dão espaço para a subjetividade, pois, de acordo com Suhr (1999), não existe um método de tomada de decisão totalmente objetivo, pois métodos qualificados como sólidos podem ser objetivos e subjetivos.

### 5.1 Estratégias da pesquisa

No campo metodológico, esta pesquisa é classificada como de caráter pragmático<sup>1</sup>, e estudo descritivo de casos múltiplos, pois, de acordo com Yin (2001), este trabalho tem foco contemporâneo, cujos dados obtidos são de mais de um caso e objetiva responder a principal questão de pesquisa com estruturação do tipo “Como?” e “Por quê?”. Pode ser observado no Quadro 4, como o autor classifica os cinco tipos de estratégia de pesquisa em função de três parâmetros principais de avaliação.

---

<sup>1</sup> Produz resultados passíveis de serem aplicados na prática.

**Quadro 4** – Situações relevantes para os diferentes métodos de pesquisa

<b>Estratégia de pesquisa</b>	<b>Tipo de questão de pesquisa</b>	<b>Requer controle dos eventos?</b>	<b>Focos em eventos contemporâneos?</b>
Experimento	Como? Por quê?	Sim	Sim
<i>Survey</i>	Quem? Quantos? O quê? Onde?	Não	Sim
Estudo de caso	Como? Por quê?	Não	Sim
Análise de arquivo	-	Não	Sim/não
História	-	Não	Não

Fonte: Yin, 2001.

Observa-se então, que **esta pesquisa parte de dois tipos de estratégias** segundo Yin (2001), sendo **experimentos e estudos de caso**, uma vez que, têm-se mais de uma amostra de produto (telha e contêiner) estudada, caracterizando assim um estudo de caso múltiplo, e também se utiliza como estratégia o experimento por meio da construção de protótipo de IPC para posterior realização de ensaios.

De acordo com Gil (2008), as estratégias de pesquisa também podem ser relacionadas com os procedimentos técnicos adotados para se alcançar o objetivo da pesquisa. Assim, os próximos subitens explicam as técnicas utilizadas para realização desta pesquisa.

#### **5.1.1.1 Estudo de caso**

De acordo com Yin (2001), dentre as estratégias de pesquisa existentes, a necessidade pelos estudos de caso surgem do desejo de se compreender fenômenos sociais complexos. Ou seja, o estudo de caso permite uma investigação para se preservar as características holísticas e significativas dos eventos da vida real.

Além disso, esse método é válido em casos onde se deve lidar com diversas fontes de evidências presentes em documentos, entrevistas e observações. A pesquisa também se enquadra no estudo de caso com necessidade de controle do pesquisador sobre os eventos analisados.

Segundo Gil (2008), o estudo de caso permite avaliação com diferentes propósitos, tais como:

- explorar situações da vida real cujos limites não estão claramente definidos;
- preservar o caráter unitário do objeto estudado;

- descrever a situação do contexto em que está sendo feita determinada investigação;
- formular hipóteses ou desenvolver teorias; e
- explicar as variáveis causais de determinado fenômeno em situações muito complexas.

Nesta pesquisa, os estudos de caso são caracterizados pelos diferentes tipos de coberturas leves e contêineres estudados, onde cada situação é analisada individualmente e comparativamente, aplicando-se o método de tomada de decisão proposto.

#### **5.1.1.2 Experimentos**

A pesquisa experimental constitui o delineamento mais prestigiado nos meios científicos (GIL, 2008). Consiste, essencialmente, em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis capazes de influenciá-lo, e definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto. Trata-se, portanto, de uma pesquisa em que o pesquisador é um agente ativo, e não um observador passivo (GIL, 2008).

A pesquisa experimental, ao contrário do que faz supor a concepção popular, não precisa necessariamente ser realizada em laboratório. De acordo com Gil (2008), pode ser desenvolvida em qualquer lugar, desde que apresente as seguintes propriedades:

- manipulação: o pesquisador precisa fazer alguma coisa para manipular pelo menos uma das características dos elementos estudados;
- controle: o pesquisador precisa introduzir um ou mais controles na situação experimental, sobretudo criando um grupo de controle;
- distribuição aleatória: a designação dos elementos para participar dos grupos experimentais e de controle deve ser feita aleatoriamente.

Gil (2008) complementa que uma limitação desta técnica consiste no fato de que muitas variáveis que poderiam ser tecnicamente manipuladas estão sujeitas a considerações de ordem ética que proíbem sua manipulação.

Sendo assim, essa pesquisa utiliza da técnica do experimento para avaliação *in situ* de montagem de protótipos de Instalações Provisórias de Canteiro (IPC) para verificação real do desempenho térmico obtido pelos diferentes tipos de coberturas leves estudadas.



## 5.2 Delineamento da pesquisa

Para Gil (2008), o procedimento para coleta de dados é o elemento mais importante no delineamento da pesquisa “o delineamento expressa em linhas gerais o desenvolvimento da pesquisa, com ênfase nos procedimentos técnicos de coleta e análise de dados”.

Segundo Gil (2008), é possível classificar as pesquisas através de dois grandes grupos de delineamento: os que utilizam as fontes de “papel” e aqueles cujos dados são fornecidos por pessoas. Neste trabalho, são utilizadas as pesquisas bibliográficas e a documental, que fazem parte do primeiro grupo e a pesquisa de campo, experimento e o estudo de caso que fazem parte do segundo grupo.

A coleta dos dados desta pesquisa foi realizada por meio de questionários junto às fábricas de coberturas leves estudadas, visita no próprio local da fábrica, e também realização de coleta de dados *in situ* nos protótipos de instalações provisórias e canteiros de obras estudados.

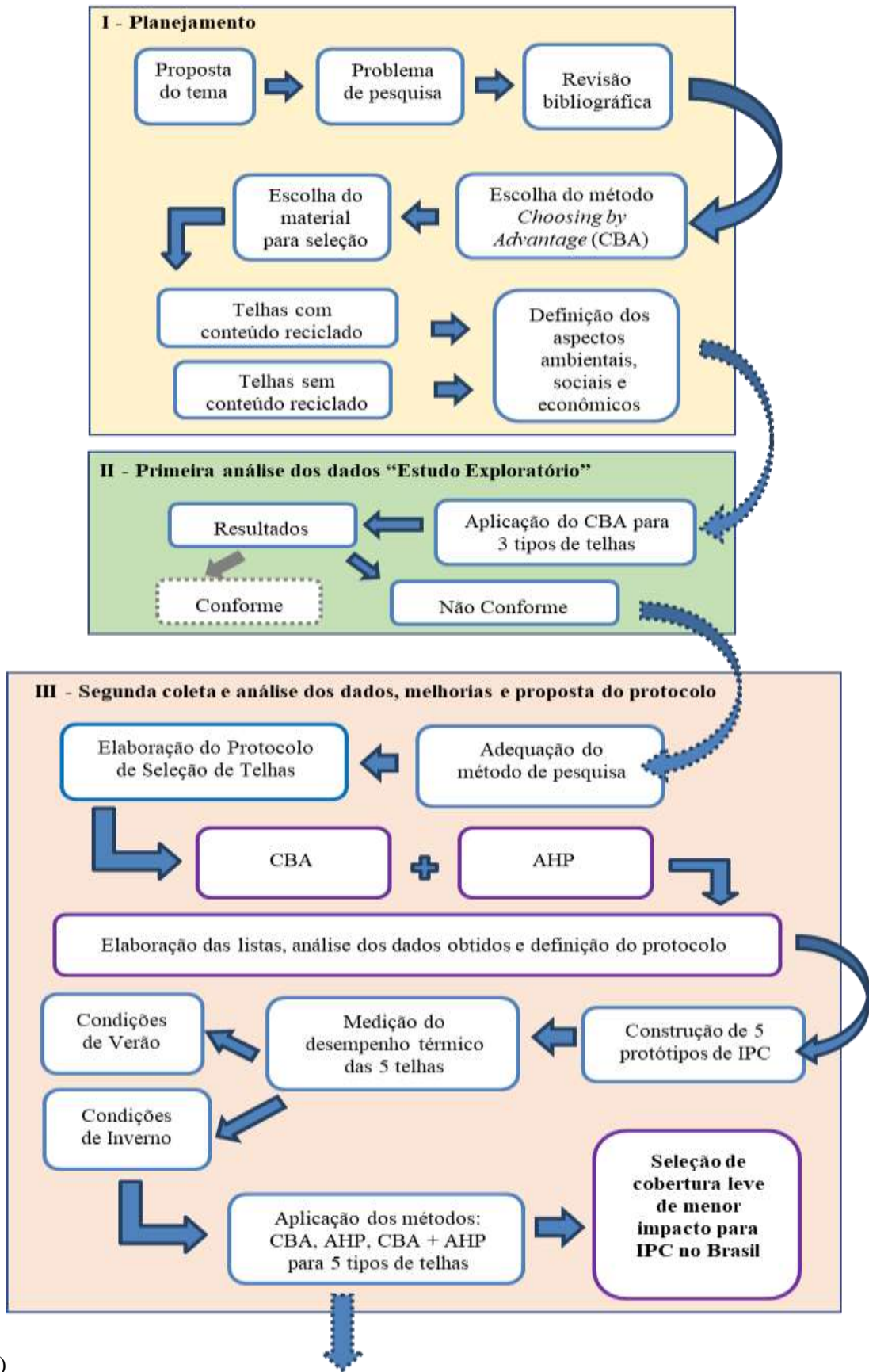
De acordo com Volpato (2011), o delineamento da pesquisa pode também ser chamado “estratégia do estudo” ou denominações similares, pois o delineamento é a estratégia intelectual do cientista, a qual dirige a metodologia. Deve mostrar a lógica e a dinâmica de sua investigação. Assim, a Figura 28 representa esquematicamente as etapas da pesquisa.

Portanto, para cumprir o objetivo principal desta pesquisa, conforme mencionado no capítulo de introdução, esta pesquisa foi dividida em quatro fases:

**(I) Fase de planejamento.** A primeira fase da pesquisa se deu com a proposta do tema, relevância da pesquisa e problemas que a pesquisa visa responder. As atividades descritas foram feitas conjuntamente com a revisão bibliográfica da literatura. Esta fase compreendeu o intervalo do real início da pesquisa até a escolha do material para ser aplicado o método de tomada de decisão. Foi verificada a importância desta pesquisa por meio da revisão bibliográfica.

A revisão bibliográfica foi executada em bases de dados, principalmente do portal de periódicos CAPES. Além desta base, foram feitas pesquisas no SciELO, Google Acadêmico, Infohab, ASCE *Library*, em revistas, anais de congressos e teses referentes ao assunto de tema da pesquisa.

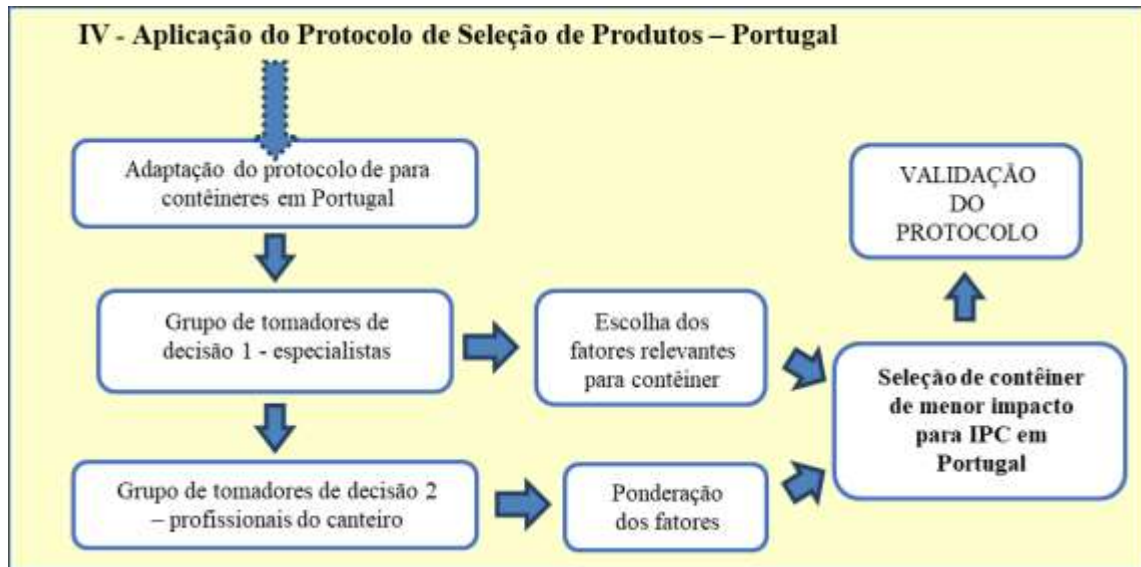
Figura 28 – Fluxograma das etapas da pesquisa



(I)

Fonte: Autora, 2017.

Figura 28 – Fluxograma das etapas da pesquisa (II)



Fonte: Autora, 2017.

**(II) Primeira análise de dados e “estudo exploratório”.** Primeiramente o método CBA foi aplicado a três tipologias de telhas. Assim, foi realizado um estudo piloto para o exame de qualificação e verificação das principais dificuldades e de quais as ações corretivas que deveriam ser implementadas. Foram coletados dados sobre diferentes métodos multicritérios, de ensaios sobre características das telhas, normatizações disponíveis sobre desempenho em edificações e nas instalações provisórias do canteiro de obras. Também foi estudado o passo a passo da metodologia a ser aplicada – *Choosing by Advantage* (CBA).

**(III) Segunda coleta e análise dos dados, melhorias e proposta do protocolo.** A partir dos resultados do estudo exploratório e também da contribuição dos membros da banca de qualificação, verificou-se a necessidade de reestruturação para aplicação do método. Assim, entendeu-se a necessidade do desenvolvimento de outro método multicritério o *Analytic Hierarchy Process* (AHP) para efeito de comparação ao método adotado inicialmente, o CBA.

Também foi verificada a necessidade de construção dos cinco protótipos IPC em madeira, para verificação *in situ* do desempenho térmico em condições de verão e inverno das cinco tipologias de telha estudada. Entendeu-se que a questão do conforto térmico é importante parâmetro a ser analisado para as IPC e nem sempre as informações técnicas disponíveis facilitam a comparação.

**(IV) Aplicação do protocolo de seleção de produtos em Portugal.** A quarta etapa foi a aplicação deste protocolo em outro país, no caso Portugal para avaliar a aplicabilidade do

Protocolo para seleção de materiais de menor impacto em tipos diferentes de IPC, tipo contêiner. Foram visitados três canteiros de obra. Os canteiros A e B correspondem a obras de uma mesma construtora, sendo um desses canteiros localizado no Distrito de Aveiro, cidade ou conselho de Estarreja, região centro, e o outro localizado no Distrito de Braga, cidade ou conselho de Guimarães, região norte. O canteiro C pertence a outra empresa construtora, diferente da primeira, e situa-se no Distrito de Porto, cidade ou concelho de Porto, região norte.

O item seguinte detalha a realização do estudo de caso exploratório da aplicação do método CBA para três tipos diferentes de coberturas leves para IPC.

### **5.3 O estudo exploratório das coberturas leves**

Foi realizado estudo de caso exploratório no município de São Carlos - SP para verificar a aplicabilidade e possíveis dificuldades do método de decisão CBA, a fim de verificar sua viabilidade e identificar possíveis problemas.

Foram realizados contatos com duas fábricas de telhas da região para fornecimento das coberturas leves à pesquisa, que cederam os materiais “telhas” para a pesquisa. O estudo foi realizado com três tipologias de coberturas leves utilizadas com frequência para IPC na região estudada, sendo estas: a) Telha com conteúdo reciclado de polietileno-alumínio; b) Telha em aço galvanizado ondulada natural; c) Telha em aço galvanizado trapezoidal natural termoacústica com uma camada de 50mm de poliestireno expandido (EPS). Apesar desta última não ser usualmente utilizada em construções temporárias, verificou-se a pertinência na comparação deste material aos mais utilizados pela consideração de fatores de conforto na concepção do produto.

Assim, seguindo a premissa de estudos anteriores e aplicações de CBA na indústria da construção, onde o método multicritério é aplicado pelas equipes tomadoras de decisão, chegou-se a um consenso sobre os fatores relevantes a considerar em cada material ou sistema em análise, de acordo com os trabalhos dos diversos autores pesquisados. Identificou-se e definiu-se que para o material “telha” utilizado na realização de coberturas leves, os fatores mais relevantes seriam: fatores sociais (peso, estética, barreira antimicrobiana e garantia), fatores ambientais (potencial de aquecimento global, possibilidade de reciclagem do material, quantidade de reciclados presente do material e controle de matéria-prima). E, por fim, o fator

econômico de relação do custo do material com as vantagens atribuídas, seguindo a proposição das sete etapas do método CBA, de acordo com Suhr (1999).

### **5.3.1 Primeira aplicação de CBA com percepção da pesquisadora**

O Quadro 5 apresenta os *atributos* de cada uma das alternativas (telhas) que foram ser coletados por meio de um questionário junto aos fabricantes das telhas (Apêndice A), aplicando-se o CBA, e posteriormente as outras etapas do método.

Quadro 5 – Resultado de aplicação do método CBA

FATORES	ASPECTOS	ALTERNATIVAS					
		TELHA COM CONTEÚDO RECICLADO POLIETILENO-ALUMÍNIO		TELHA ONDULADA NATURAL – AÇO GALVANIZADO		TELHA TERMOACÚSTICA NATURAL – AÇO GALVANIZADO	
1- PESO Critério: <i>Mais leve melhor</i>	■	Atributos: 7 kg/m <sup>2</sup> Vantagem:	0	Atributos: 4,1 kg/m <sup>2</sup> <b>Vantagem: Mais leve</b>	40	Atributos: 8,7 kg/m <sup>2</sup> Vantagem:	0
2- ESTÉTICA Critério: <i>Mais bonita melhor</i>	■	Atributos: <u>Menos Bonita</u> Vantagem:	0	Atributos: Bonita Vantagem:	0	Atributos: Mais bonita <b>Vantagem: Design mais bonito</b>	10
3- POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL Critérios: <i>Menos transportes melhor</i>	■	Atributos: <16 Km Vantagem: menor distância	100	Atributos: <102Km Vantagem:	0	Atributos: <102 Km Vantagem:	0
4- BARREIRA ANTIMICROBIANA/ CORROSÃO Critério: <i>Possuir melhor</i>	■	Atributos: Altas temperaturas de prensagem Vantagem: Possui	50	Atributos: Zincagem Vantagem: Possui	50	Atributos: Zincagem Vantagem: Possui	50
5- CONTROLE DE MATÉRIA-PRIMA Critério: <i>Possuir melhor</i>	■	Atributos: Sim <b>Vantagem: Controla melhor</b>	70	Atributos: Sim Vantagem: Controla	0	Atributos: Sim Vantagem: Controla	0
6- GARANTIA Critério: <i>Mais tempo melhor</i>	■	Atributos: 5 anos e 3 meses <b>Vantagem: 4 anos e 3 meses a mais</b>	20	Atributos: 1 ano Vantagem:	0	Atributos: 1 ano Vantagem:	0
7- QUANTIDADE DE RECICLADOS Critério: <i>Maior quantidade melhor</i>	■	Atributos: 98% <b>Vantagem: 98%</b>	60	Atributos: 98% <b>Vantagem: 98%</b>	60	Atributos: 98% <b>Vantagem: 98%</b>	60
8- POSSIBILIDADE DE RECICLAGEM Critério: <i>Se sim melhor</i>	■	Atributos: Sim Vantagem: <u>Aproximadamente 5 vezes</u>	0	Atributos: Sim Vantagem: Muito mais que 5 vezes	40	Atributos: Sim Vantagem: Muito mais que 5 vezes	40
<b>TOTAL IofA</b>		<u>300</u>		190		160	

Legenda:

Aspecto Ambiental ■

Aspecto Social ■

Fonte: Autora, 2016.

Como os fatores foram ponderados de acordo com os aspectos ambientais e sociais, foi importante dar um peso para cada fator antes de decidir a importância de cada vantagem. Assim, o tomador de decisão, que nesta etapa do estudo exploratório foi a própria pesquisadora, considerou mais relevantes os fatores ambientais e depois os sociais, tendo em consideração a seleção da telha de menor impacto, como a sequência apresentada no Quadro 6 a seguir.

**Quadro 6 – Pesos dos fatores no estudo exploratório**

ASPECTOS	FATORES	PESOS
Ambientais	Potencial de aquecimento global	4 (100)
	Possibilidade de reciclagem	3 (80)
	Quantidade de reciclados	2 (70)
	Controle de matéria-prima	1 (60)
Sociais	Barreira antimicrobiana	4(50)
	Peso	3 (40)
	Garantia	2 (20)
	Estética	1 (10)

**Fonte: Autora, 2016.**

A divisão foi feita de forma que os pesos tanto dos fatores com aspectos ambientais quanto sociais atendessem a objetivos primordiais, por exemplo, aquecimento global é a maior preocupação ligada à produção de materiais, obtendo o maior peso pelo tomador de decisão (importância da vantagem = 100).

Foi atribuída uma escala de 0 a 100 pontos, mas optou-se por usar a nomenclatura das vantagens usada por Suhr (1999), porém, com os intervalos da escala definidos, onde 100 é o número máximo de importância de vantagens e 0 (zero) a ausência, como exibido a seguir:

- 0 pontos – ausência de vantagens;
- 1 a 10 pontos – poucas vantagens;
- 11 a 50 pontos – boas vantagens;
- 51 a 80 pontos – excelentes vantagens;
- 81 a 100 pontos – vantagens superiores.

Depois de atribuídas as notas, estas foram somadas e em alguns casos ultrapassaram 100 pontos, conforme proposições do CBA. Os pontos somados foram utilizados para o gráfico da próxima etapa (Etapa 7).

A Etapa 7 avalia os aspectos econômicos das telhas analisadas, conforme o autor Suhr (1999), ou seja, fez-se a comparação dos atributos das telhas (somatório destes atributos = importância

de vantagem (IofA)) com o custo (valor de mercado), e isto deve ser feito na última etapa do processo de tomada de decisão utilizado nesta pesquisa.

O Quadro 7, a seguir, exhibe os dados das alternativas, ou seja, pontuação de importância de vantagens (IofA) e o valor R\$/m<sup>2</sup> de cada peça de telha com as características descritas anteriormente.

**Quadro 7 – IofA e valor das telhas**

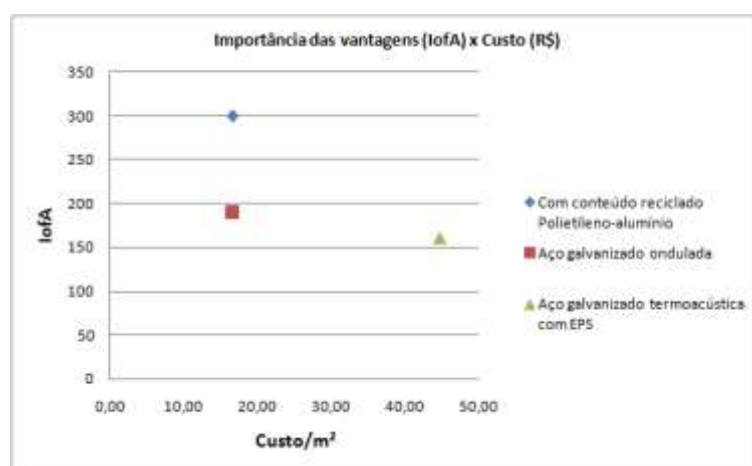
	<b>Telha com conteúdo reciclado de Polietileno Alumínio</b>	<b>Telha de aço galvanizado ondulada</b>	<b>Telha de aço galvanizado termoacústica</b>
IofA	300	190	160
R\$/m <sup>2</sup>	16,58	16,54	44,64

Fonte: Autora, 2016.

Analisando os Quadros 6 e 7, pode-se observar que as vantagens foram atribuídas com relação aos critérios estabelecidos, e ainda que a cobertura leve avaliada como melhor alternativa para IPC foi a telha com conteúdo reciclado de Polietileno Alumínio, com um total de importância das vantagens – *Importance of Advantage* (IofA) de 300 pontos. Depois, foi classificada a telha em aço galvanizado ondulada com IofA de 190 pontos; e com a menor pontuação a telha em aço galvanizado termoacústica com 160 pontos.

Apresentando os dados do Quadro 7 de forma gráfica, tem-se a Figura 29 seguinte.

**Figura 29 – Gráfico IofA x custo/m<sup>2</sup>**



Fonte: Autora, 2016.

No gráfico apresentado anteriormente (Figura 29), observa-se que a cobertura leve em aço galvanizado termoacústica foi a pior alternativa, pois tem o menor valor de importância de



vantagens (IofA) com o valor de custo/m<sup>2</sup> mais alto. Portanto, as que competem mais equilibradamente foram as telhas em aço galvanizado natural ondulada e a telha com conteúdo reciclado Polietileno Alumínio.

Pelo estudo exploratório, foi observado que os valores (custo/m<sup>2</sup>) para as duas telhas são equivalentes, porém a cobertura leve com conteúdo reciclado possui mais vantagens que a cobertura leve em aço galvanizado ondulada.

#### **5.4 Processo de adequação do CBA com suporte de AHP**

Uma das consequências do resultado ao Estudo Exploratório, foi a revisão do método CBA e a inserção do método AHP para comparação. Estas ações foram necessárias para que se obtivesse um método mais consistente e replicável.

Após o Estudo Exploratório realizado, também verificou-se que as Etapas 5 e 6 que são atribuições da principal vantagem (5) e a pontuação dada a esta vantagem (6), respectivamente, tinham uma análise bastante subjetiva, dependente do entendimento do tomador de decisão principalmente nos valores. A quantidade de telhas foi ampliada para cinco, considerando as novas parcerias com dois fabricantes da região.

Outro ponto a ser citado era o fato de esta pesquisa ser individual, onde o tomador de decisão era o próprio pesquisador, o que acabava não caracterizando uma tomada de decisão conjunta. Ou seja, quando o CBA é aplicado em empresas de construção civil por equipes de tomada de decisão, e não por um único indivíduo, a questão desta pontuação se torna multicritério, havendo uma discussão das escolhas do ponto de vista de cada um, embasando a decisão final.

Surgiu, assim, a necessidade de adequação do método adotado nesta pesquisa, no sentido de apoiar a tomada de decisão. Para isto, foi buscado validação dos parâmetros elencados junto a uma equipe de especialistas. Foi selecionada uma empresa construtora conceituada no setor, com certificação ISO 9001:2015 e certificação AQUA em quase todos os empreendimentos, com pessoal capacitado na área de gestão ambiental e sustentabilidade, para que a equipe administradora do canteiro de obras respondesse com seus níveis de preferência entre um fator e outro para determinar qual seria mais importante. As decisões no preenchimento dos questionários foram tomadas sempre por um consenso da equipe especialista, neste caso a equipe tomadora de decisão é a de gerenciamento de canteiro de obras, constituída por: um engenheiro ambiental que é responsável pelos requisitos de certificação ambiental, um

engenheiro civil com a função de gestor de obras, um mestre de obras e um assistente de engenharia.

Assim, foi elaborada uma tabela com os doze fatores a serem analisados e enviada à empresa construtora para que os membros da equipe de gerenciamento de canteiro opinassem sobre o processo de tomada de decisão para as coberturas e definissem um grau de importância para cada vantagem das alternativas tendo em vista Seleção de Telhas de menor Impacto Ambiental, Social e Econômico para IPC. Assim, criou-se uma situação real de tomada de decisão por meio da análise dos especialistas para as Etapas 5 e 6 de CBA. Esta tabela pode ser consultada no Apêndice B – Questionário com decisores de preferências CBA.

Outro ponto levantado após o Estudo Exploratório realizado foi a possibilidade de comparar o método CBA com outro método de tomada de decisão para efeito de comparação dos resultados. Portanto, buscou-se um método de tomada de decisão multicritério que fosse difundido na literatura da engenharia civil para a seleção de materiais sustentáveis, e que pudesse também oferecer matematicamente uma equação para a Etapa 6, sendo utilizado o método AHP (SAATY, 2012).

Assim, foi criada também uma outra tabela com quinze fatores analisados, que na linguagem AHP são chamados de critérios e subcritérios, e enviada à mesma empresa construtora respondente do questionário sobre o método CBA, para que a equipe de gerenciamento de canteiro (os tomadores de decisão), analisassem as particularidades de cada método. Este outro questionário pode ser verificado no Apêndice C – Questionário com decisores de preferências AHP.

Outro ponto identificado com o Estudo Exploratório foi que os fatores analisados poderiam ser considerados poucos, já que o estudo visava a seleção da melhor cobertura leve sob os aspectos da sustentabilidade. Observou-se que poderiam ser considerados mais aspectos sociais e ambientais.

Foi determinado e compreendido que havia a necessidade de determinação das condições de “Desempenho Térmico”, pois, este é um fator preponderante que sofre influência do local de instalação das IPC. Então para análise do fator “Desempenho Térmico” foram construídos cinco protótipos de IPC para medição *in loco* dos dados de temperatura e umidade, tanto no verão quanto no inverno de acordo com a Norma de Desempenho em Edificações – Sistemas de Coberturas (ABNT, 2013a).

De acordo com Arroyo, Tommelein e Ballard (2015), os métodos de tomada de decisão devem levar em conta fatores sociais e ambientais que normalmente não são considerados. Considerou-se importante a inserção de alguns fatores baseados na literatura de seleção e engenharia de materiais (FERRANTE, 2013). Além dos fatores anteriormente analisados no Estudo Exploratório, os fatores inseridos foram: considerações dimensionais; desempenho térmico; durabilidade/vida útil; facilidade do material.

Portanto, a lista dos doze fatores analisados em CBA para as coberturas leves das IPC correspondem a:

- Peso;
- Estética;
- Emissão de CO<sub>2eq</sub>;
- Barreira antimicrobiana;
- Garantia;
- Possibilidade de reciclagem do material;
- Quantidade de reciclados presente no material;
- Controle de matéria-prima;
- Considerações dimensionais;
- Desempenho térmico;
- Durabilidade/Vida útil;
- Facilidade do material.

Apesar da importância do fator “Emissão de CO<sub>2eq</sub>” não foi possível de obter os cálculos referente a estas emissões, visto que as análises de emissões dos gases poluentes no transporte das telhas são muito mais complexas do que a análise que estava sendo realizada. Então, na tabela final de determinação do CBA o fator “Emissão de CO<sub>2eq</sub>” não consta, porém, foram apresentados os procedimentos relacionados com o mesmo.

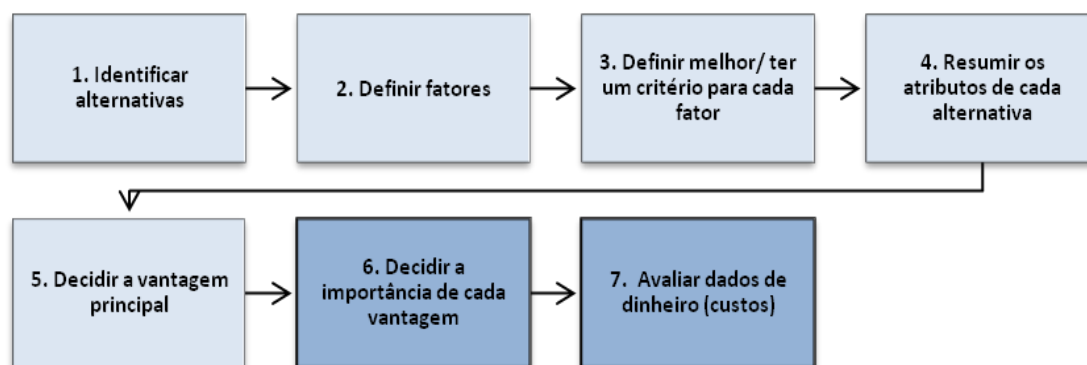
Na Etapa 7, onde foram analisados os aspectos econômicos para o Estudo Exploratório, foi verificado o custo/m<sup>2</sup> (custo por metro quadrado das coberturas leves) para aquisição das telhas. Em outro momento, verificou-se também o custo de utilização das mesmas, composto pelo custo de aquisição, instalação e manutenção.

## 5.5 Segunda aplicação de CBA com proposição de grupos de especialistas em tomada de decisão

Na segunda aplicação do método CBA após adequação citada anteriormente, foram seguidas as sete etapas. Conforme mencionado, de acordo com Suhr (1999) o método tabular CBA para decisões moderadamente complexas, possui cinco fases como descrito no item 3.2.2 *Choosing by Advantage (CBA)*, sendo que a fase utilizada nesta pesquisa é a Fase 3 – Tomada de Decisão do CBA que por sua vez possui cinco etapas: (1) identificar as alternativas a serem comparadas, (2) definir os fatores que serão analisados nas alternativas, (3) ter um critério para atender cada fator, (4) expor os atributos de cada alternativa, (5) identificar a principal vantagem a partir do atributo.

Porém, esta pesquisa utilizou duas etapas da Fase 2 – Inovação de Suhr (1999), assim como proposto pelos autores Arroyo, Tommelein, Ballard (2013), sendo então: (6) Definir uma escala de importância das vantagens (IofA), (7) Relacionar o custo da alternativa com as importâncias das vantagens. Assim a sequência do método CBA seguida neste estudo será como proposto na Figura 30.

Figura 30 – Sequência CBA a ser seguida



Fonte: Adaptado e traduzido, ARROYO, TOMMELEIM, BALLARD (2013).

A seguir serão explicadas as estratégias utilizadas em cada uma das etapas mencionadas.

### Etapa 1 – Identificar as alternativas

As alternativas escolhidas para aplicação do método foram cinco tipos de coberturas leves: 1) Telha com conteúdo reciclado Polietileno-Alumínio (embalagens Longa Vida); 2) Telha em aço galvanizado natural ondulada; 3) Telha em aço galvanizado natural trapezoidal termoacústica com EPS (Poliestireno Expandido); 4) Telha de fibrocimento sem amianto; e 5) Telha de Policloreto de Vinila (PVC).

## **Etapa 2 – Definir os fatores das alternativas**

Os fatores são elementos contidos nas alternativas e foram pré-definidos de acordo com características ambientais e sociais das alternativas. Um dos diferenciais de CBA é a escolha dos fatores que realmente têm importância, sendo assim, para se obter dados mais consistentes foi elaborado um questionário (Apêndice A) para que os fabricantes das telhas respondessem perguntas envolvendo os fatores.

Além do questionário com os fabricantes de telha, o resultado do questionário sobre os métodos de tomada de decisão (Apêndice B e Apêndice C), aplicado a uma empresa construtora também colaborou para a escolha dos fatores analisados nas coberturas leves.

Então, considerou-se conveniente analisar os seguintes fatores das telhas:

- **Peso – Social**

O peso das telhas influencia no aspecto social, ou seja, no trabalho da mão de obra para instalação destas telhas, de forma que, quanto mais leve forem, menos esforços e melhores condições ergonômicas proporcionarão ao trabalhador, no momento da respectiva instalação. Em um momento futuro de manutenção (com necessidade de retirada e possível substituição dessas telhas), o fator peso também influenciará no aspecto social.

- **Estética – Social**

O fator estética está relacionado com a aparência, gosto e preferência das pessoas.

- **Emissão de CO<sub>2eq</sub> – Ambiental**

Considera que as emissões de gases contribuintes para o efeito estufa são prejudiciais ao meio ambiente. Para uma análise completa deste fator deve-se considerar o Potencial de Aquecimento Global e a determinação da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).

- **Barreira antimicrobiana – Social**

A barreira antimicrobiana, além de proporcionar durabilidade ao material, envolve aspectos sociais por estar suscetível ao ataque de microrganismos que são prejudiciais à saúde de quem tem contato com este material. No caso das telhas uma proliferação de mofos e fungos acarreta má qualidade do ar interno e posterior dano à saúde dos usuários do ambiente.

- Controle de matéria-prima – Ambiental

Este fator é relacionado aos componentes do material em si, sendo necessário determinar se houve preocupação por parte dos fabricantes no controle das matérias-primas utilizadas para a fabricação de suas telhas, legalidade, e se os componentes não são advindos de fabricantes que desconhecem a procedência.

- Garantia – Social

A garantia é um fator social, pois envolve o compromisso por parte dos fabricantes com o produto que estão oferecendo para a sociedade, ou seja, uma garantia de manutenção no caso de falhas no seu produto durante um período.

- Quantidade de reciclados – Ambiental

Referente à porcentagem de material reciclado que compõe as telhas, ou seja, esse fator só será favorável para telhas com conteúdo reciclado.

- Possibilidade de reciclagem – Ambiental

Está relacionado à viabilidade e possibilidade de reciclagem dos materiais, neste caso das telhas. Às vezes não é viável a reciclagem dependendo do material e do que tem incorporado nele, devido ao alto custo financeiro (por exemplo, para retirar o zinco de telhas em aço galvanizado), ou ao alto gasto de energia, para realização do processo.

- Desempenho térmico – Social

O desempenho térmico das telhas está relacionado com o conforto dos usuários no ambiente, sendo um aspecto voltado ao social e fator importante de ser considerado.

- Durabilidade (vida útil) – Social

Refere-se ao tempo que o material dura no seu uso. Por legislação (NBR 15.575-1, ABNT, 2013a) é especificado que sistemas de coberturas devem durar no mínimo 20 anos. Entretanto, existe uma variabilidade alta de telhas no mercado, sendo que cada uma apresenta características diferentes.

- Considerações dimensionais – Social

São levadas em conta as dimensões das coberturas leves, pois, quanto mais possibilidades de tamanho houver para atender ao consumidor e ao projeto de uso das coberturas, melhor será a chance de venda ou revenda das mesmas.

- Facilidades do material – Social e Ambiental

Considera desde a disponibilidade do material com relação à quantidade em estoque e se as matérias-primas são advindas de regiões próximas. Também pode estar relacionado com a complexidade de fabricação das telhas, podendo ser necessários máquinas e equipamentos, mão de obra especializada, tempo, entre outros.

### **Etapa 3 – Definir os critérios dos fatores**

De acordo com o método CBA e conforme já mencionado, os critérios são divididos em dois tipos, os critérios “*must*”, ou seja, obrigatórios e os “*want*” desejáveis (SUHR, 1999). Essa definição é dada pelos tomadores de decisão, assim é mais uma etapa do processo para poder distinguir o grau de importância de cada fator.

Então, a seguir cada fator citado anteriormente é posicionado com um critério de atendimento, e ainda os critérios foram selecionados para esta pesquisa como “obrigatórios” ou “desejáveis”.

- Peso – Social

O critério para peso é – Quanto mais leve melhor – levando-se em consideração as coberturas leves para IPC, pois quanto mais leves forem as telhas, menos esforços terão de fazer os operários no momento da instalação, logo proporcionando maior ergonomia. Este fator se enquadra como um critério obrigatório. Depois de atribuído o critério de atendimento, nota-se que este fator está relacionado diretamente com o operário, com o quanto o peso das telhas que influem na mão de obra de instalação.

- Estética – Social

O critério para atender o fator estética é – Quanto mais bonita melhor – assim atenderá a preferência do tomador de decisão, se enquadrando em um critério desejável, tratando-se de IPC. Após atribuição do critério ao fator estética, nota-se que está relacionado com o gosto do tomador de decisão, ou seja, está levando em consideração a qualidade visual que o material proporciona.

- “Emissão de CO<sub>2eq</sub>” – Ambiental

O critério para o fator de “Emissão de Dióxido de Carbono Equivalente (CO<sub>2eq</sub>)” é – Quanto menos transporte, melhor. Corresponde ao Potencial de Aquecimento Global que é uma medida de como uma determinada quantidade de gás do efeito estufa contribui para o aquecimento global. Entretanto, para a correta determinação deste fator torna-se importante contar com uma

base de dados da região estudada e considerar o ciclo de vida do produto a ser analisado. É um critério desejável.

- Barreira antimicrobiana – Social

O critério para o fator Barreira antimicrobiana/antiferrugem é – Possuir melhor – mas não necessariamente obrigatório definindo-se como critério desejável para coberturas leves em IPC, pois considerando que no processo de fabricação das telhas ocorrem procedimentos que visam isentar os componentes da ocorrência de mofo, micro-organismos ou oxidação. Também se leva em consideração o tempo máximo de duração das IPC e não seja um tempo significativo para manifestação de fungos/ferrugem.

- Controle de matéria-prima - Ambiental

O critério para o fator Controle de matéria-prima é – Possuir melhor – se houver preocupação por parte dos fabricantes no controle das matérias-primas utilizadas para a fabricação de suas telhas, não haverá maiores problemas com meio ambiente e melhor serão os produtos, caracterizando um critério obrigatório.

- Garantia – Social

O critério para o fator Garantia é – Quanto mais tempo melhor – pois é importante oferecer assistência técnica prolongada quando se paga por um produto e este pode apresentar defeitos de fabricação, definido como critério desejável.

- Quantidade de reciclados – Ambiental

O critério para o fator Quantidade de reciclados é – Maior quantidade melhor - caracteriza-se como critério desejável pelo fato de ser aplicável somente às telhas com conteúdo reciclado. Porém, este tipo de produtos ditos como “sustentáveis”, muitas vezes possuem pequena parcela de material reciclado ou até mesmo resinas que não se caracterizam como produtos sustentáveis.

- Possibilidade de reciclagem – Ambiental

O critério para atender esse fator é – Se sim melhor – e leva em consideração nesta abordagem a quantidade de vezes que se pode ser reciclado, definido como obrigatório.

- Desempenho térmico – Social

O critério para desempenho térmico é – Quanto maior melhor – pois leva em consideração o conforto do usuário no ambiente das IPC com relação ao desempenho térmico fornecido pelas coberturas leves, definido como critério obrigatório.



- Durabilidade (vida útil) – Social

O critério para durabilidade é – quanto mais durável, melhor – este critério buscou analisar duas vertentes do fator: a durabilidade de fábrica, que normalmente é descrita por normas, e a durabilidade das telhas observada durante o período de utilização nos protótipos de IPC (12 meses). É definido como critério obrigatório.

- Consideração dimensional – Social

O critério para o fator consideração dimensional é – quanto mais flexível melhor - levando em conta as possibilidades de dimensões das coberturas leves estudadas, sendo considerado desejável.

- Facilidades do material – Social

O critério para facilidade do material é – quanto mais facilidades melhor – e considera desde a disponibilidade do material com relação à quantidade em estoque, facilidade na fabricação deste, e se as matérias-primas são advindas de regiões próximas. É definido como critério desejável.

#### **Etapa 4 – Identificar os atributos de cada alternativa**

Nesta etapa, as alternativas foram dispostas em formato de tabela como no método Tabular CBA proposto por Suhr (1999). A partir dos fatores e critérios das etapas anteriores indica-se na Tabela CBA os ATRIBUTOS de cada alternativa. Um exemplo de preenchimento de atributo do Fator Peso pode ser visto no Quadro 8 seguinte para três diferentes alternativas.

**Quadro 8 – Exemplo de preenchimento dos atributos**

	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	<b>Alternativa 3</b>
<b>FATORES</b>	Telha com conteúdo reciclado polietileno-alumínio	Telha em aço galvanizado ondulada natural	Telha em aço galvanizado termoacústica com EPS
<b>PESO</b>	Atributo: 7 kg/m <sup>2</sup>	Atributo: 4,1 kg/m <sup>2</sup>	Atributo: 8,7 kg/m <sup>2</sup>

**Fonte: Autora, 2017.**

Desta forma, para cada alternativa (telha) ou material analisado, foram atribuídos os seus respectivos atributos com relação ao fator indicado anteriormente. No Quadro 8 pode ser visto o peso de cada telha por metro quadrado.

### **Etapa 5 – Identificar a vantagem principal a partir do atributo**

Nesta etapa, os atributos das cinco alternativas (telhas) foram avaliados pelo tomador de decisão e então se determinou qual a **vantagem principal** em apenas uma das cinco alternativas dentre as coberturas leves em questão. Ou seja, a vantagem que se destacará é sempre a que possuir um atributo mais vantajoso com relação ao que o **critério impõe**.

Como no exemplo anterior do fator peso, tendo como critério – mais leve melhor – então a telha que tiver menos kg/m<sup>2</sup> terá a vantagem principal.

### **Etapa 6 – Definir a escala de importância de cada vantagem**

Nesta etapa do método CBA foram atribuídos pesos (valores) às vantagens, e de acordo com Surh (1999) estas notas são dadas a partir da identificação pelos decisores da vantagem principal a qual recebe a maior nota, e assim sucessivamente são dadas as outras notas de acordo com que o tomador de decisão julgar mais conveniente.

A Etapa 6 é formada por dois momentos, sendo a elaboração tradicional CBA direcionada por Surh (1999), onde se usou uma escala de 0 a 100 pontos para as equipes de tomada de decisão atribuírem as preferências, e também foi feita a análise matemática proposta por Saaty (1990) de matrizes de comparação paritárias dos fatores.

Assim, foi aplicado o Apêndice B com todos os doze fatores pré-estabelecidos e uma escala com nível de preferências. Esta escala seguiu o sistema CBA de pontuações, uma escala de 0 a 100 pontos conforme proposto por Suhr (1999) onde leva-se em consideração o grau de importância para cada vantagem das alternativas tendo em vista Seleção de Telhas de menor Impacto Ambiental, Social e Econômico para IPC.

Nesta escala de 0 a 100 não se atribui somente números exatos como 10, 20, 80, por exemplo, pode-se atribuir notas 5, 15, 75 de acordo com a decisão da equipe para os julgamentos de da importância das vantagens atribuídas aos fatores. De acordo com os especialistas esta atribuição de notas foram avaliadas conforme a necessidade real da telha em relação ao seu uso como IPC.

Objetiva-se que a decisão seja construída a partir de fatos relevantes que produzam julgamentos objetivos, embora a determinação do IofA (passo 5) é inteiramente subjetiva. Nenhuma decisão pode ser livre de preferência pessoal, segundo Parrish e Tommelein (2009), mas é importante que os julgamentos sejam construídos sobre fatos para evitar uma alta ordem de abstração.

## **Etapa 7 – Comparar dados de custos das alternativas com as importâncias de vantagens**

Voltando ao método CBA, a Etapa 7 faz as análises de custo que não foram feitas juntamente com a Etapa 6 anterior. Depois de atribuir notas às vantagens, essas são somadas e têm-se um total das importâncias das vantagens – IofA – do inglês *Importance of Advantage*.

É importante destacar que CBA considera o aspecto econômico (por exemplo, custo ou preço) após os atributos de alternativas terem sido avaliadas com base em fatores e critérios. De acordo com Suhr (1999), um método de tomada de decisões que suporta escolhas de material deve abordar inicialmente a subjetividade envolvida na perspectivas das pessoas.

No item 5.3 *Estudo Exploratório* só foi verificado o custo/m<sup>2</sup> (valor de mercado). Entretanto, Surh (1990); Arroyo, Tommelein e Ballard (2015) propõem a avaliação do custo para transporte, instalação e manutenção e possíveis reusos das coberturas leves (custo do ciclo de vida). O presente estudo exhibe o custo de utilização composto por: valor de aquisição, custo de instalação e custo de manutenção.

O valor de IofA deve ser comparado posteriormente com outros custos estabelecidos anteriormente, custo inicial de aquisição do material (valor de mercado). Se os valores (R\$) das alternativas coincidirem, opta-se pela alternativa com maior importância de vantagens (IofA) (SUHR, 1999).

Após esta última etapa definida neste método de seleção de material, então pode-se escolher qual a alternativa (ou a cobertura leve) mais adequada por meio da realização das sete etapas propostas e descritas que englobam os aspectos econômicos, ambientais e sociais.

Destaca-se que a utilização do método AHP na Etapa 6 foi feito somente para efeito de comparação. Os resultados da Etapa 7 foram gerados para os dois métodos estudados CBA e AHP e podem ser observados no capítulo de resultados.

### **5.6 Construção do método AHP com proposição de grupos de especialistas em tomada de decisão**

Para a avaliação das pontuações dos cinco tipos de coberturas leves estudadas por meio do método AHP as decisões foram tomadas pela mesma equipe de gerenciamento da construtora. O mesmo grupo de especialistas da construtora responderam ao Apêndice C para expor as preferências de acordo com os método AHP de acordo com o método proposto por Saaty (1990). Dessa forma, para se obter uma escala de pontuações é necessário calcular as matrizes

de comparações dos fatores analisados para conhecer qual a melhor opção a ser empregada, neste estudo de coberturas leve de menor impacto para IPC.

Esse é o fundamento do Método de Análise Hierárquica (*AHP*): decomposição e síntese das relações entre os critérios até que se chegue a uma priorização dos seus indicadores, aproximando-se de uma melhor resposta de medição única de desempenho (SAATY, 1994).

Para a pesquisa em questão, o que está sendo avaliado para poder comparar os resultados com o método CBA, são somente as comparações que darão pesos aos fatores, que no método AHP são denominados critérios. Portanto, para AHP têm-se quinze (15) critérios, pois, nesse método os aspectos econômicos são avaliados juntos aos sociais e ambientais, assim sendo existem cinco critérios com aspectos ambientais, cinco com aspectos sociais e cinco com aspectos econômicos. Dessa forma, foram obtidas quinze matrizes de ordem 5, conforme Apêndice C.

Depois de aplicado o Apêndice C, que trata das preferências entre os critérios selecionados, pode-se encontrar os pesos dos critérios pré-determinados nesta pesquisa e então compilar os dados por meio das matrizes de comparação par a par. Foi aplicado também AHP em CBA. Para essa aplicação, foram utilizados os valores das Prioridades Médias Locais (PML) obtidas no cálculo de AHP, para compor o método Tabular CBA e obter porcentagens a serem comparadas.

### **5.7 Construção dos protótipos de IPC**

Devido a participação desta pesquisa no Projeto CANTECHIS, financiado pela FINEP citado no *item 1.2 Contextualização*, e a possibilidade de testar as propriedades dos produtos estudados em um ambiente com condições similares, assim como propõe a NBR 15.575 (ABNT, 2013), foi viabilizada a construção de cinco protótipos de IPC em madeira, para verificação *in situ* do desempenho térmico em condições de verão e inverno de cada umas das cinco tipologias de cobertura leve estudadas.

O objetivo de mensuração deste fator foi para que a análise pudesse trazer dados do desempenho térmico fornecido por cada telha em questão e assim identificar qual destas apresenta melhor desempenho térmico ao usuário das IPC em condições semelhantes de exposição.

## **5.8 Aplicação do protocolo para contêineres**

A aplicação do protocolo para contêineres em Portugal ocorreu por conta da adesão da pesquisadora ao Programa de Doutorado Sanduíche no Exterior (PDSE) apoiado pela CAPES, conforme já mencionado.

Este capítulo apresentou as estratégias metodológicas de forma geral, de forma a definir a importância de cada etapa da pesquisa realizada e obter um protocolo viável para seleção de produtos a serem utilizados na construção civil.

# 6 DETERMINAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DAS TELHAS

Este capítulo exhibe os resultados obtidos na pesquisa em relação ao fator “desempenho térmico” que foi considerado fundamental para a comparação e respectiva seleção entre as variedades de telhas estudadas.

Como estratégia foram construídos dos protótipos de IPC em madeira com coberturas leves e definidos procedimentos para que a medição, como será relatado neste capítulo.

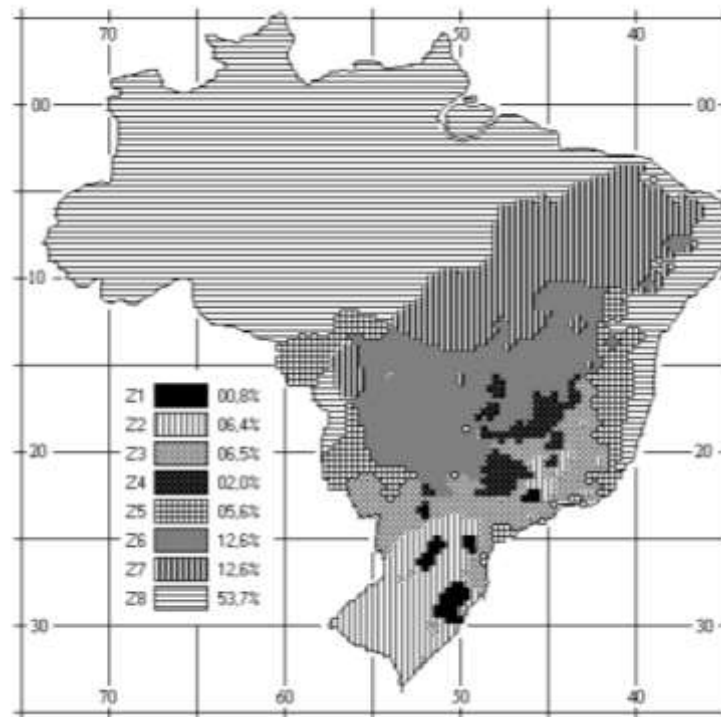
## 6.1 O fator “desempenho térmico” das coberturas leves

A NBR 15.575-5 apresenta os requisitos e critérios para verificação dos níveis mínimos de desempenho térmico de coberturas, sendo que o primeiro requisito de atendimento é a isolação térmica da cobertura, que por sua vez deve apresentar transmitância térmica e absorvância à radiação solar que proporcionem um desempenho térmico apropriado para cada zona bioclimática (ABNT, 2013b).

A NBR 15.575-1 determina que para verificação dos níveis de desempenho térmico em coberturas é necessário atender ao requisito: Isolação térmica da cobertura, que tem como critério a transmitância térmica, que considera cada tipo de material empregado, o fluxo térmico em direção descendente, em função das zonas bioclimáticas, encontram-se indicados na Figura 31 a seguir (ABNT, 2013a).

Conforme designado pela NBR 15.220-3 (ABNT, 2003b), a edificação habitacional deve considerar a zona bioclimática em que está inserida para expor dados de desempenho térmico. No Brasil, são classificados oito grandes zonas com diferentes características.

**Figura 31**– Zonas bioclimáticas brasileiras



**Fonte:** ABNT, 2003b.

A NBR 15.575-5 apresenta três níveis de desempenho: Mínimo (M) que é obrigatório ser atendido, Intermediário (I) e Superior (S). Os requisitos e critérios para verificação dos níveis mínimos de desempenho térmico de coberturas é a isolação térmica da cobertura, que por sua vez deve apresentar transmitância térmica e absorvância à radiação solar que proporcionem um desempenho térmico apropriado para cada zona bioclimática (ABNT, 2013b).

É possível realizar o cálculo de transmitância térmica de acordo com NBR 15.220-2 (ABNT, 2005), que considera cada tipo de material empregado, a direção do fluxo térmico de calor (que para coberturas é descendente), em função das zonas bioclimáticas. No Quadro 9 seguinte, pode-se observar os níveis de desempenho (M, I, S) com as determinadas taxas de transmitâncias térmicas (ABNT, 2013a).

**Quadro 9** – Critérios e níveis de desempenho de coberturas quanto à transmitância térmica (U)

Transmitância térmica (U)					
W/m <sup>2</sup> K					
Zonas 1 e 2	Zonas 3 a 6		Zonas 7 e 8 <sup>1)</sup>		Nível de desempenho
U ≤ 2,3	α <sup>1)</sup> ≤ 0,6	α <sup>1)</sup> > 0,6	α <sup>1)</sup> ≤ 0,4	α <sup>1)</sup> > 0,4	M
	U ≤ 2,3	U ≤ 1,5	U ≤ 2,3 FV	U ≤ 1,5 FV	
U ≤ 1,5	α <sup>1)</sup> ≤ 0,6	α <sup>1)</sup> > 0,6	α <sup>1)</sup> ≤ 0,4	α <sup>1)</sup> > 0,4	I
	U ≤ 1,5	U ≤ 1,0	U ≤ 1,5 FV	U ≤ 1,0	
U ≤ 1,0	α <sup>1)</sup> ≤ 0,6	α <sup>1)</sup> > 0,6	α <sup>1)</sup> ≤ 0,4	α <sup>1)</sup> > 0,4	S
	U ≤ 1,0	U ≤ 0,5	U ≤ 1,0	U ≤ 0,5	

<sup>1)</sup> Na zona bioclimática 8 também estão atendidas coberturas com componentes de telhas cerâmicas, mesmo que a cobertura não tenha forro.  
 NOTA O fator de ventilação (FV) é estabelecido na ABNT NBR 15220/2.

**Fonte: ABNT, 2013a.**

A NBR 15.575-1 (ABNT, 2013a) determina o valor máximo diário da temperatura do ar interior de recintos de permanência prolongada, como, por exemplo, salas e dormitórios, sem a presença de fontes internas de calor (ocupantes, lâmpadas, outros equipamentos em geral para maior conforto dos usuários (Quadro 10), e recomenda ainda que sejam atendidos os níveis de desempenho I ou S para melhor conforto do usuário.

**Quadro 10** – Critério de avaliação de desempenho para o verão

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
M	Ti, max ≤ Te, max	Ti, max ≤ Te, max
I	Ti, max ≤ (Te, max -2° C)	Ti, max ≤ (Te, max -1° C)
S	Ti, max ≤ (Te, max -4° C)	Ti, max ≤ (Te, max -2° C) e Ti, min ≤ (Te, min + 1° C)

Ti, max é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;  
 Te, max é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius;  
 Ti, min é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;  
 Te, min é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius;  
 NOTA Zonas bioclimáticas de acordo com ABNT NBR 15220-3.

**Fonte: ABNT, 2013a.**

A NBR 15.575-1 (ABNT, 2013a) determina que os valores mínimos diários da temperatura do ar interior de recintos de permanência prolongada, como, por exemplo, salas e dormitórios, em um dia típico de inverno, devem ser maiores ou iguais que a temperatura externa acrescida de 3°C (nível mínimo M). Para maior conforto dos usuários, recomenda-se para os níveis intermediário (I) e superior (S) os valores apresentados no Quadro 11 seguinte.



**Quadro 11** – Critério de avaliação de desempenho para o inverno

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas bioclimáticas 1 a 5	Zonas bioclimáticas 6, 7 e 8
M	$T_{i, \min} \geq (T_{e, \min} + 3^\circ \text{C})$	Nestas zonas, este critério não precisa ser verificado
I	$T_{i, \min} \geq (T_{e, \min} + 5^\circ \text{C})$	
S	$T_{i, \min} \geq (T_{e, \min} + 7^\circ \text{C})$	
Ti, min é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius; Te, min é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius; NOTA Zonas bioclimáticas de acordo com ABNT NBR 15220-3.		

Fonte: ABNT, 2013a.

Portanto, de acordo com os dados verificados no Quadro 11 apresentado, esta análise foi feita para os dados do terceiro dia de medição como designado pela norma de desempenho, onde se obtém temperatura mínima externa de 13 graus Celsius.

## 6.2 Condições para projeto dos protótipos de IPC

A atividade de projeto e de construção dos protótipos de IPC para este estudo, seguiu as diretrizes apresentadas pelas NBR 15.220-2 (ABNT, 2005) e NBR 15.575-1 (ABNT, 2013a) para avaliação do desempenho térmico de edificações, onde se recomenda que estes sejam construídos considerando as condições estabelecidas a seguir:

- A cidade de São Carlos está localizado na zona bioclimática 4;
- Condição de inverno: janela do dormitório ou sala de estar voltada para sul e outra parede exposta voltada para leste;
- Condição de verão: janela do dormitório ou sala voltada para oeste e outra parede exposta voltada para norte.
- Obstrução por elementos externos: quando possível, as paredes e as janelas dos protótipos devem ser desobstruídas (sem presença de edificações ou vegetação nas proximidades que modifiquem a incidência de sol e/ou vento).
- No caso de avaliação em protótipo, este deve reproduzir as condições mais semelhantes possíveis a aquelas que serão obtidas pela edificação real, evitando-se desvios de resultados causados por sombreamentos ou ventilação diferentes da obra real.
- Período de medição: o dia tomado para análise deve corresponder a um dia típico de projeto, de verão ou de inverno, precedido por pelo menos um dia com características semelhantes. Recomenda-se, como regra geral, trabalhar com uma sequência de três dias e analisar os dados do terceiro dia. Para efeito da avaliação por medição, o dia típico

é caracterizado unicamente pelos valores da temperatura do ar exterior medidos no local.

- Os valores da temperatura do ar exterior dos dias típicos de verão e inverno de diversas localidades estão apresentados nas Tabelas A.2 e A.3 da norma referida (ABNT, 2013a). Caso a cidade não conste nestas Tabelas, utilizar os dados climáticos da cidade mais próxima, dentro da mesma região climática, com altitude de mesma ordem e grandeza.

Considerando os procedimentos expostos pela norma, que tratam de verificar o desempenho em construções permanentes, e que os protótipos construídos tratam de IPC que são construções temporárias, procurou-se atender da melhor maneira as diretivas citadas anteriormente.

Como a proposta do desempenho térmico não é da IPC como um todo, ou seja, só se pretendia observar a diferença das temperaturas no interior de cada protótipo por cada tipologia de cobertura leve, as condições de aberturas para inverno e verão não foram atendidas, uma vez que os protótipos não procuram representar dormitórios. Além disso, optou-se por não contar com a interferência da circulação de ar por janelas.

A obstrução por elementos ao entorno foi evitada, somente havendo sombreamento dos IPC próprios uns nos outros. Com isso, esperou-se reproduzir condições semelhantes de um canteiro de obras que não existem construções no entorno das IPC.

Os períodos de medição foram de três dias consecutivos tanto para o inverno como para o verão. As medições realizaram-se um dia anterior ao solstício de verão, no dia, e um dia após; também assim no solstício de inverno, e os dados apresentados correspondem ao terceiro dia.

A temperatura externa e interna do ar foram medidas no local durante os mesmos dias.

As temperaturas dos dias típicos da cidade de São Carlos, SP, não são apresentadas nas tabelas da NBR 15.575 (ABNT, 2013a). Dessa forma, a cidade que está nestas tabelas e que os dados se aproximam de São Carlos, SP, é a cidade de Brasília, DF, que se encontra na mesma zona bioclimática, com altitude de mesma ordem de grandeza. Entretanto, como as cidades não são próximas foram realizadas as medições de temperatura externa no local.

### 6.3 Construção dos protótipos das IPC

Os protótipos foram construídos de forma padronizada, com todos os materiais semelhantes a uma situação real: fechamento em madeira (chapas de madeirite), piso cimentado, estrutura em madeira, sem forro, mudando somente a tipologia do material empregado na cobertura, a saber: 1) telha com conteúdo reciclado de polietileno e alumínio procedentes de embalagens tipo longa vida, e telhas sem conteúdo reciclado de 2) aço galvanizado natural ondulada, 3) aço galvanizado natural termoacústica com EPS, 4) fibrocimento sem amianto, e de 5) Policloreto de Vinila (PVC).

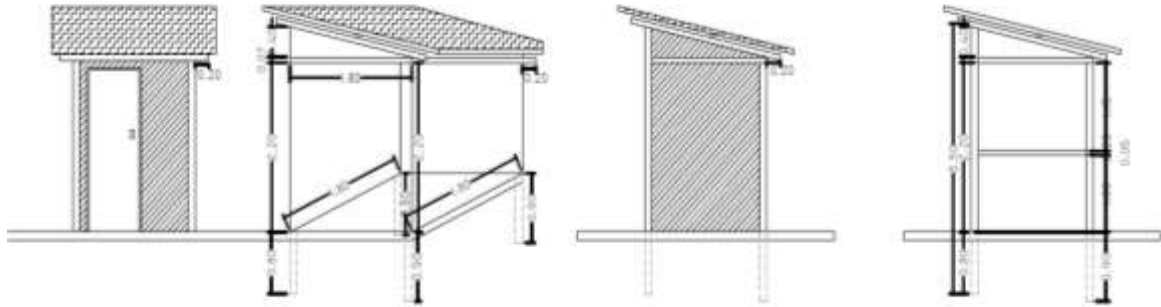
Os protótipos construídos representam uma área de vivência e de apoio, como refeitório ou escritório de obra, por exemplo. Mas, para comparação dos dados considerou-se a área como sendo de apoio administrativo – escritório – que, de acordo com a Norma Regulamentadora NR-18 (BRASIL, 2015), são instalações que desempenham funções de suporte à produção, abrigando funcionário(s) durante a maior parte ou durante todo o período da jornada diária de trabalho, ao contrário do que ocorre nas áreas de vivência, as quais só são ocupadas em horários específicos (PAGANELLA, 2011).

O escritório tem a função de proporcionar um espaço de trabalho isolado para que o mestre de obras, engenheiro, apontador, técnicos e estagiários, eventualmente, desempenhem parte de suas atividades. Além disso, uma função complementar é servir como local de arquivo da documentação técnica da obra que deve estar disponível no canteiro, incluindo projetos, cronogramas, licenças da prefeitura, etc. (PAGANELLA, 2011).

Nas situações reais de projeto do IPC, o dimensionamento desta instalação é função do número de pessoas que trabalharão no local, das funções administrativas previstas e das dimensões dos equipamentos a serem utilizados (armários, mesas, cadeiras, computadores, etc.), variáveis estas que são dependentes dos padrões de cada empresa.

Devido à limitação do local disponibilizado para a construção dos protótipos, a dimensão que os protótipos foram construídos é de 1,80 metros de largura x 1,80 metros de comprimento, altura até a estrutura do telhado mais baixa com 2,20 metros (parte da frente) e mais alta com 2,60 metros (parte de trás), conforme Figura 32 a seguir. A localização dos protótipos no campus foi projetada conforme orientação dos pontos cardeais a fim de garantir condições iguais de projeção das sombras e garantir o atendimento às normas técnicas brasileiras.

**Figura 32**– Esquema de representação do protótipo de IPC



**Fonte:** Autora, 2016.

O fechamento do ambiente é característico de IPC com chapas de compensado de madeira, a estrutura do fechamento e da cobertura são de madeira, o piso é de concreto aplicado diretamente no solo, as estruturas das coberturas têm 20% de inclinação e não possuem forro (Figura 32).

As chapas de compensado utilizadas nos protótipos foram com 10 mm de espessura, plastificadas e pretas, que não são as utilizadas para as situações reais de fechamento de IPC, que normalmente optam por utilizar os compensados mais baratos, menos espessos/duráveis, e costumam ter cor natural de madeira, rosa ou verde. Porém, optou-se pelos compensados plastificados e mais espessos por necessidade de projeto, a área do campus onde foram construídos possui muita incidência de ventos e para evitar possível desprendimento destas chapas e maior vedação interna ao longo dos 12 meses de verificação *in loco*.

As Figuras 33 a 35 seguintes exibem os materiais utilizados nos protótipos, que foram descritos anteriormente.

**Figura 33** – Materiais para construção dos cinco protótipos de IPC



a) Ripões de madeira e chapas de compensado plastificado



b) Telha de PVC formato colonial. Utilizou-se 3 chapas para cobertura



c) Telha com conteúdo reciclado polietileno-Alumínio ondulada. Utilizou-se 2 chapas para cobertura

**Fonte: Autora, 2018.**

**Figura 34** – Construção dos cinco protótipos de IPC



a) Piso cimentado, estrutura em madeira e fechamento



b) Telha de fibrocimento ondulada em instalação (2 chapas)



c) Instalação das telhas em aço galvanizado ondulada e termoacústica (2 chapas)

**Fonte: Autora, 2016.**

**Figura 35** – Situação real de construção dos cinco protótipos de IPC



**Fonte: Autora, 2016.**

A posição de construção dos protótipos de IPC no terreno considerou que nenhum edifício existente ao entorno sombreasse os protótipos. Porém, se considerou que, pela proximidade, os próprios protótipos provocassem o mesmo sombreamento uns aos outros ao longo do dia (construídos lado a lado na direção norte/sul). Para isto, ao lado do primeiro e do último construiu-se uma “parede” feita da mesma chapa de madeira compensada que os protótipos foram construídos para simular outros protótipos ao lado com mesma distância entre eles (1,00 metro) e mesma altura (2,60 metros), conforme Figuras 36 e 37. A Figura 38 mostra uma visão do sombreamento dos IPC no terreno.

**Figura 36** – Construção de parede para sombreamento



**Fonte: Aurora, 2017.**

**Figura 37** – Parede de sombreamento para a IPC do extremo



**Fonte: Autora, 2017.**

**Figura 38** – Visão do local de montagem dos cinco protótipos de IPC



**Fonte: Autora, 2017.**

Com relação às aberturas, optou-se por não colocar janelas para obter melhor vedação interna e também porque os IPC destinados aos escritórios em situações reais de canteiros de obras não costumam ficar com janelas abertas devido à alta quantidade de poeira existente no local e também porque costumam possuir ar condicionado instalado. As aberturas (portas) e caída do telhado (inclinação = 20%) foram direcionadas ao oeste, que é o horário de sol incidente mais intenso tanto no inverno como no verão.

#### **6.4 Condições e equipamentos de medição**

O clima de São Carlos é classificado como Subtropical, com inverno frio e seco e verão quente e úmido, durante oito meses do ano, entre abril e novembro as amplitudes médias mensais de

temperaturas (diferenças entre médias de máximas e médias de mínimas) variam entre 10 e 11,8°C (Dornelles e Roriz, 2003).

No caso das cinco coberturas leves em análise, é adotada a Zona Bioclimática 4 (São Carlos, SP), e pode-se observar no Quadro 12 os índices de transmitância térmica obtidos por meio do cálculo exposto na NBR 15.220-2 (ABNT, 2005) das cinco tipologias de telhas e suas particularidades.

**Quadro 12** – Índice de transmitância térmica das cinco tipologias de telhas

Tipologias de coberturas leves	Características e espessura das coberturas leves	Índice de absorvância térmica ( $\alpha$ ) (NBR 15.220-2)	Índice de transmitância térmica (U)	Nível de desempenho (NBR 15.575-5)
Polietileno-Alumínio	Chapa de 6 mm. Face externa em alumínio virgem novo e brilhante	0,05	4,44	-
Aço galvanizado	Chapa de 0,5 mm. Face externa em aço galvanizado novo e brilhante	0,25	4,76	-
Aço galvanizado termoacústica	Face externa e interna em aço galvanizado novo e brilhante – com chapas de 0,5mm e camada intermediária de EPS com espessura de 50mm	0,25	0,68	S
Fibrocimento	Chapa de 6 mm. Face externa de cor cinza clara	0,30/0,50	4,56	-
PVC	Chapa com 2,5 mm. Face externa com pintura marrom avermelhada (imitando cerâmica)	0,74	4,49	-

Fonte: Autora, 2017.

Comparando os valores de transmitância térmica (U) obtidos no Quadro 12 com o exigido pela norma de desempenho NBR 15.575, nota-se que a única telha que atende a norma com um nível Superior de transmitância térmica é a coberturas leve em Aço galvanizado com EPS (telha sanduíche). As outras coberturas leves tiveram seus índices na faixa de 4, sendo que o recomendado como Mínimo é  $U \leq 2,3$  e 1,5 a depender da absorvância térmica dos materiais.

A seguir foram feitas medições dentro dos protótipos de IPC construídos para melhor verificação e exposição dos dados, pretendendo-se assim obter além dos valores de transmitância térmica das coberturas leves, conhecer quais as coberturas leves tem melhor desempenho térmico na análise real dos protótipos de IPC.



A medição de verão ocorreu no mês de Dezembro, no chamado solstício de verão, que é o dia que marca o início da estação no país (Brasil), e também é considerado o mais longo dia no verão. O mesmo ocorreu no solstício na estação de inverno, no mês de Junho.

Foi realizada a medição da temperatura e umidade relativa do ar dentro de cada protótipo de IPC com *data loggers* da *Onset Corporation HOBO Pro v2 Data Logger* de Temperatura/Umidade Relativa (Figura 39), os dados coletados foram transferidos pelo *software Hobo Ware Pro* próprio do equipamento a um computador pessoal, para posterior tratamento e análise.

Também foi feita a medição da temperatura da superfície interna das coberturas leves por um termômetro com infravermelho sem contato FLUKE 62 Mini Termômetro sem contato (Figura 39), para obter-se a variação da temperatura pelo lado interno ao longo do dia em cada cobertura leve.

**Figura 39** – Data loggers HOBO



**Fonte:** Autora, 2016.

Os equipamentos *dataloggers HOBO* foram cedidos pelo laboratório de pesquisa CONFEE - Laboratório de Conforto e Eficiência Energética do Ambiente Construído, do DECiv/UFSCar, coordenado pela professora Léa Cristina Lucas de Souza.

O termômetro de infravermelho (Figura 40) foi cedido pela Universidade de São Paulo de São Carlos, Instituto de Arquitetura e Urbanismo (IAU – USP), Laboratório de Conforto, coordenado pelo pesquisador Pedro Mattia e professor Eduvaldo Sichieri.

No campus da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), está instalada uma estação meteorológica automática que fornece os dados de temperatura externa, umidade relativa

externa, velocidade do vento, latitude e longitude, localizada conforme Figura 41. Os dados foram visitados e extraídos do site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2017).

**Figura 40** – Termômetro infravermelho FLUKE



**Fonte:** Autora, 2016.

**Figura 41** – Local da estação meteorológica na UFSCar



**Fonte:** INMET, 2017.

Para o verão, o procedimento foi realizado por três dias consecutivos 20, 21 e 22 de dezembro de 2016, considerando o dia anterior e o posterior do solstício de verão, porém os dados utilizados para análise era o terceiro dia como recomendado pela NBR 15.575-1 (ABNT, 2013a).

Uma questão importante destacar, é que não é pretendido com isto apresentar os dados exatos de conforto térmico dentro do ambiente porque para isto deveria se considerar todos os outros

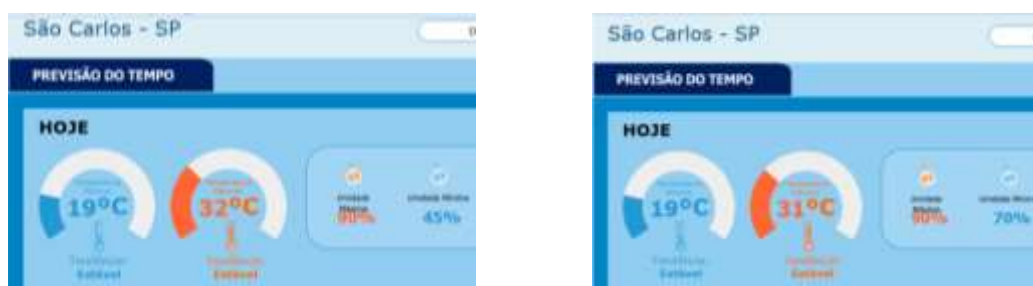
materiais, transmitâncias e condutividade térmicas das chapas de compensado, madeira da estrutura e o foco são somente as coberturas leves. Portanto, o foco é determinar os níveis de desempenho térmico das coberturas leves em questão, por isso é que foram padronizados os cinco protótipos com mesmas medidas, materiais, sombreamento, apenas variando as coberturas leves, para obter a diferença da temperatura dentro destes ambientes.

Apresentados os equipamentos e as condições, a seguir é exposto como foram realizadas as medições e procedimentos para verificação do desempenho térmico de cada cobertura leve analisada.

### 6.5 Medição da temperatura e umidade externa local

Primeiramente, coletaram-se os dados da estação meteorológica de temperatura e umidade externa local, e também as temperaturas máximas e mínimas para a cidade de São Carlos naquele dia. Depois cada *logger HOBO* (utilizaram-se cinco) foram colocados dentro dos protótipos de IPC (um em cada protótipo) em uma altura de 1,20m do chão programados para medir a temperatura de bulbo seco (temperatura do ar sem interferência da umidade) e umidade relativa de uma em uma hora dentro da IPC ao longo do dia (09h às 16h), as Figuras 42 e 43 seguintes ilustram estes procedimentos.

**Figura 42** – Temperaturas externas máxima e mínima da cidade de São Carlos



a) Dados dia 20/12/2016

b) Dados dia 21/12/2016



c) Dados dia 22/12/2016

Fonte: INMET, 2017.4

**Figura 43** – Registro de temperatura e umidade pelos equipamentos



a) Logger dentro da IPC para registro da temperatura e umidade



b) Termômetro registrando temperatura de superfícies

**Fonte: Autora, 2016.**

A NBR 15.575-1 não traz uma especificação de horários para medição do desempenho térmico, mas esta mesma norma referente ao desempenho lumínico (natural ou artificial) cita que o horário para verificação deve ser no período compreendido entre 9h e 15h (ABNT, 2013a).

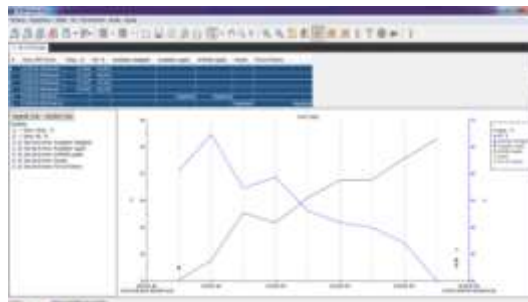
Portanto, o horário para verificação do desempenho térmico foi determinado entre 9h e 15h, que é o período de sol intenso durante o dia todo e também considerando o horário de permanência de pessoas dentro de IPC. Lembrando que no Brasil o horário de verão é uma hora a mais que o horário de inverno, então a medição com o termômetro infravermelho para conhecimento da temperatura de superfície interna das coberturas leves foi realizada manualmente às 10h, 13h e 16h, pois corresponderiam às 9h, 12h e 15h no horário normal.

Após registro coletado pelos *loggers* ao longo dos três dias, os dados foram transferidos ao *software HoboWare Pro* por meio de descarregamento via USB para ser realizada a análise dos dados. A Figura 44 exibe uma das telas de descarregamento dos dados no software para que sejam gerados os gráficos da relação temperatura/umidade. Todos estes dados eram transmitidos ao computador e feita uma planilha do Excel com as médias diárias.

**Figura 44** – Transmissor de dados e tela de transferência



a) USB transmissor de dados do *logger* para o computador por meio do programa



b) Tela da transferência dos dados coletados durante o dia todo (temperatura e umidade)

**Fonte:** Autora, 2017.

### **6.5.1 Medição do desempenho térmico das coberturas leves no verão brasileiro**

Assim, após definição dos procedimentos, pôde-se realizar a coleta de dados de temperatura e umidade externa aos protótipos, interna aos protótipos, temperatura da superfície interna das coberturas leves com os equipamentos citados para os três dias de coleta, estes dados podem ser vistos no Quadro 13 a seguir.

Quadro 13 – Dados do levantamento térmico das IPC no verão

Data e hora	Temperatura e umidade no local		Telha Polietileno-alumínio			Telha Aço galvanizado ondulada			Telha Aço galv. Trapezoidal termoacústica (EPS)			Telha Fibrocimento			Telha PVC		
	Temp. externa (°C)	HR externa (%)	Temp. Interna (°C)	HR (%)	Temp. Superfície (°C)	Temp. interna(°C)	HR (%)	Temp. Superfície (°C)	Temp. interna(°C)	HR (%)	Temp. Superfície (°C)	Temp. Interna (°C)	HR (%)	Temp. Superfície (°C)	Temp. interna (°C)	HR (%)	Temp. Superfície (°C)
<b>20/12/2016</b>																	
9h	19	74	24,6	70		23,8	62		24	60		23,8	65		23	73	
10h			24	74	22	26,2	67	23,6	25,5	67	25,2	24,9	73	22,4	25	68	21,6
11h			27,8	61		30,4	55		29	57		29	60		29	56	
12h	26	78	27,3	62		29,3	59		28,3	59		28,4	62		28,8	59	
13h			29,3	55	29,2	31,6	51	31,6	30,1	53	30,4	31	54	30,2	32	49	32,8
14h			31	50		33,5	47		31,4	50		34,2	48		35,1	41	
15h	28	68	33	46		33,3	47		31,5	49		34,1	47		35	43	
16h			34,7	40	38,8	34,5	46	36,6	33,1	47	34,2	35,3	45	49	35,7	42	48,6
<b>21/12/2016</b>																	
9h	22	91	26,7	63		27,8	63		27,1	63		26,7	67		27	64	
10h			27,5	61	30,8	28,5	60	33,8	28	61	31,6	27,9	63	32,2	28	61	36,4
11h			32,1	49		32,9	50		31,7	50		33	50		33,6	47	
12h	24	74	30,7	50		31,4	51		30,5	51		31,5	51		31,9	49	
13h			31,3	49	38,2	31,4	50	37,4	32	50	30,4	32,2	50	45,2	35,2	46	49,2
14h			32,8	48		32,7	50		33,6	50		34	47		36,1	44	
15h	27	67	34	44		34,4	45		35,5	45		35,5	43		38,3	42	
16h			35,8	42	38,4	36,4	42	38,4	34,3	42	33	37,4	40	42,6	35,9	40	42,6
<b>22/12/2016</b>																	
9h	17	95	21,5	78		21,4	80		21	80		21,5	80		21,8	79	
10h			21	82	25,2	21,5	80	26,6	21,3	81	24,6	21,1	84	25,8	21,1	82	27,8
11h			26,1	66		26,4	68		26,2	66		26,4	69		27,5	64	
12h	25	70	31,5	47		31,6	52		31,2	50		32,2	50		33,3	44	
13h			31,1	50	38,4	31,7	51	38,2	31,1	51	31,4	32	52	43,4	32,7	48	53,6
14h			33,6	43		33,6	47		33,3	45		34,9	44		36,3	40	
15h	29	63	35,2	39		36,2	41		35,1	40		37,4	38		37,8	36	
16h			36,5	38	41,8	36,8	41	41,8	36,2	39	38,8	38,1	37	50,6	39	35	51,8

Fonte: Autora, 2017.

No geral, os valores não se distanciaram muito uns dos outros, tanto de temperatura quanto umidade, mas ao observar o Quadro 14 com as médias de cada dia e dos três dias, a telha que proporcionou melhor desempenho térmico ao ambiente dos protótipos durante medição de temperatura e umidade nos três dias foi a cobertura leve com conteúdo reciclado Polietileno-alumínio.

**Quadro 14** – Média dos dados do solstício de verão

Estação meteorológica		Telha com conteúdo reciclado Polietileno-Alumínio			Telha Aço galvanizado ondulada			Telha Aço galv. Termoacústica com EPS			Telha de Fibrocimento			Telha com conteúdo de PVC		
Temp. externa (°C)	HR externa (%)	Temp. Interna (°C)	HR (%)	Temp. Superfície (°C)	Temp. interna(°C)	HR (%)	Temp. Superfície (°C)	Temp. interna(°C)	HR (%)	Temp. Superfície (°C)	Temp. Interna (°C)	HR (%)	Temp. Superfície (°C)	Temp. interna (°C)	HR (%)	Temp. Superfície (°C)
<b>Média dos valores no Dia 20/12</b>																
24,3	73,3	28,9	57,2	30	30,3	54,2	30,6	29,1	55,2	29,9	30,1	56,7	33,8	30,4	53,8	34,3
<b>Média dos valores no Dia 21/12</b>																
24,3	77,3	31,4	50,8	35,8	31,9	51,4	36,5	31,6	51,5	31,7	32,3	51,4	40,0	33,3	49,1	42,7
<b>Média dos valores no Dia 22/12</b>																
23,6	76,0	29,6	55,4	35,1	29,9	57,5	35,5	29,4	56,5	31,6	30,5	56,8	39,9	31,2	53,5	44,4
<b>Média dos três dias</b>																
24,07	75,5	29,97	54,5	33,63	30,70	54,4	34,20	30,03	54,4	31,07	30,97	55,0	37,90	31,63	52,1	40,47

Fonte: Autora, 2017.

A consideração feita para a estação do verão é de quanto menor a temperatura interna nos protótipos, melhor o desempenho térmico da telha, portanto, analisando-se os dados coletados, pode-se observar que a Telha de PVC - é a que apresenta maior temperatura interna dentro dos protótipos, maior temperatura de superfície interna e menor porcentagem de umidade relativa do ar. Assim, a cobertura leve que se destaca positivamente é a Telha com conteúdo reciclado Polietileno-Alumínio.

O que é muito perceptível é que a média da temperatura interna nos cinco protótipos é sempre maior do que a temperatura média externa, que não é uma situação adequada, pois esperava-se ter um conforto térmico melhor dentro das instalações.

De acordo com os dados de Temperatura interna e externa apresentadas pela NBR15.575 (ABNT, 2013a), foram feitas estas análises nos cinco protótipos de IPC, considerando os dados do terceiro dia de medição, onde se obtém uma temperatura externa máxima ( $T_{e_{max}}$ ) de 32 graus Celsius.

O Quadro 15 seguinte exhibe os valores obtidos: Temperatura Interna Máxima ( $T_{i_{max}}$ ) registrada dentro dos protótipos, e a média das temperaturas internas registradas dentro dos protótipos ao longo do dia (22/12) no horário de medição (8h às 15h) somente para efeito de comparação.

**Quadro 15** – Níveis de desempenho obtido pelas coberturas leves para o verão

Coberturas Leves	Temperatura Interna Máxima registrada nos Protótipos (°C)	Média da Temperatura Interna Máxima (°C)* – 8h às 15h	Níveis de Desempenho (NBR 15.575)
Telha de Polietileno-alumínio	36,5	29,6	Intermediário (I) $T_{i_{max}} \leq T_{e_{max}} - 2^{\circ}\text{C}$ $T_{e_{max}} = 32 - 2 = 30^{\circ}\text{C}$
Telha de Aço galv. ondulada	36,8	29,9	Acima de $32^{\circ}\text{C}$ = Desempenho não atestado pela norma
Telha de Aço galv. termoacústica	36,2	29,4	*Apenas para efeito de comparação, pois a Norma não estipula trabalhar com o valor médio.
Telha de Fibrocimento	38,1	30,5	Superior (S) $T_{i_{max}} \leq T_{e_{max}} - 4^{\circ}\text{C}$ $T_{e_{max}} = 32 - 4 = 28^{\circ}\text{C}$
Telha de PVC	39	31,2	Mínimo (M) $T_{i_{max}} \leq T_{e_{max}}$ $T_{e_{max}} = 32^{\circ}\text{C}$

Fonte: Autora, 2017.



Como observado no Quadro 15, nenhuma das coberturas leves em estudo possui desempenho térmico Mínimo considerado como indicado pela Norma de Desempenho, pois a Temperatura Interna Máxima ( $T_{i_{max}}$ ) registradas dentro dos protótipos é mais alta que a Temperatura Externa Máxima ( $T_{e_{max}}$ ) de 32°C no ambiente externo. Estes valores foram obtidos em um determinado horário do dia, ao longo da medição tem-se um pico que foi registrado como  $T_{i_{max}}$ .

Porém, quando estes dados foram observados ao longo do dia (08h às 15h), com média da Temperatura Interna registrada então todas as coberturas leves atenderam com desempenho térmico Mínimo que é obrigatório, as coberturas leves com conteúdo reciclado Polietileno-Alumínio, em aço galvanizado Ondulada e Termoacústica com EPS ainda atenderam ao nível Intermediário.

### **6.5.2 Medição do desempenho térmico das coberturas leves no inverno brasileiro**

Os mesmos procedimentos de medição foram feitos no inverno nos dias 20, 21 e 22 de Junho de 2017, sendo que o solstício de inverno ocorreu no dia 21 de Junho.

Os equipamentos e métodos utilizados foram os mesmos do verão, medição da temperatura e umidade relativa do ar dentro de cada protótipo de IPC com *data loggers* da *Onset Corporation HOBO Pro v2 Data Logger* de Temperatura/Umidade Relativa, e medição da temperatura da superfície interna das coberturas leves por um termômetro com infravermelho sem contato FLUKE 62 Mini Termômetro para conhecimento da variação da temperatura pelo lado interno ao longo do dia em cada cobertura leve.

A única diferença entre as medições de verão e inverno foi em relação aos horários porque como foi citado anteriormente o período do verão estava com uma hora adiantada, então a medição que no verão se iniciou-se às 09h, no inverno iniciou-se às 08h, ou seja, o período de medição foi entre 08h e 15h.

Dessa forma, coletaram-se os dados da estação meteorológica de temperatura e umidade externa local, e também as temperaturas máximas e mínimas para a cidade de São Carlos naquele dia, depois os *loggers HOBO* eram colocados dentro dos protótipos de IPC em uma altura de 1,20m do chão programados para medir a temperatura de bulbo seco (temperatura do ar sem interferência da umidade) e umidade relativa de uma em uma hora dentro das IPC ao longo do dia (08h às 15h).

As temperaturas internas das superfícies das coberturas leves foram medidas às 08h, 12h e 15h. A seguir a Figura 45 exibe as temperaturas externas máximas e mínimas na cidade de São Carlos no site do Instituto Nacional Meteorológico (INMET) (INMET, 2017).

**Figura 45** – Temperaturas externas máxima e mínima da cidade de São Carlos no inverno



a) Dados dia 20/06/2017

b) Dados dia 21/06/2017



c) Dados dia 22/06/2017

Fonte: INMET, 2017.

O Quadro 16 apresenta os valores medidos dentro dos protótipos de IPC no inverno.

**Quadro 16 – Dados do levantamento térmico das IPC no inverno**

Data e hora	Temperatura e umidade no local		Telha Polietileno-alumínio			Telha Aço galv. ondulada			Telha Aço galv. termoacústica (EPS)			Telha Fibrocimento			Telha PVC		
	Temp. externa (°C)	HR externa (%)	Temp. Interna (°C)	HR (%)	Temp. Superfície (°C)	Temp. Interna (°C)	HR (%)	Temp. Superfície (°C)	Temp. interna(°C)	HR (%)	Temp. Superfície (°C)	Temp. interna(°C)	HR (%)	Temp. Superfície (°C)	Temp. interna (°C)	HR (%)	Temp. Superfície (°C)
<b>20/06/2017</b>																	
8h	15	96	16,9	84		17,0	84		16,9	83		16,7	84		16,7	84	
9h	18	82	18,6	78	20,8	18,9	77	21,6	18,6	77	23,8	18,6	77	19,4	19,1	75	21
10h	20	74	23,2	64		23,7	61		22,5	63		23,3	61		24,8	56	
11h	22	71	23,2	62		23,9	60		23,0	61		23,7	59		24,6	55	
12h	23	68	24,7	58	26,2	25,4	55	28,8	24,2	57	27,2	25,4	54	30	27,4	47	31
13h	24	64	24,9	57		25,6	54		24,5	55		25,8	52		27,5	47	
14h	25	59	24,5	59		25,0	57		24,2	57		24,9	55		25,9	52	
15h	21	55	25,6	56	24,2	26,0	54	24,6	25,0	55	24,2	25,7	53	24,6	27,2	49	24,4
16h	19	57	22,6	64		23,1	62		22,6	62		22,8	61		23,4	59	
<b>21/06/2017</b>																	
8h	15	91	18,3	74		18,8	74		18,2	73		17,9	74		18,1	74	
9h	17	83	21,9	63	24,4	23,1	60	30,2	21,8	61	29,4	21,7	63	24,6	21,5	62	24,6
10h	18	76	23,8	57		25,1	54		23,6	56		23,6	56		24,8	52	
11h	20	70	24,7	55		26,0	51		24,4	53		25,1	52		26,6	48	
12h	21	66	25,2	55	29,4	25,8	53	29,2	24,7	54	26,6	25,8	51	31,4	28,2	44	36,2
13h	22	64	26,2	52		26,7	50		25,8	51		26,9	48		29,6	41	
14h	22	61	28,2	47		28,7	46		27,5	46		28,7	43		31,3	38	
15h	24	59	29,2	44	32,6	29,8	42	31,6	28,3	44	30,2	29,4	41	31,2	31,5	36	39,6
16h	22	59	28,4	48		29,0	46		27,6	48		28,3	45		29,5	42	
<b>22/06/2017</b>																	
8h	14	83	20,0	65		20,4	65		19,8	64		19,7	65		19,9	64	
9h	18	77	22,6	58	24,2	23,7	54	30,6	22,7	55	31,8	22,3	57	21,2	23,1	54	25
10h	20	71	23,9	54		25,2	50		24,0	52		23,8	52		25,2	49	
11h	22	64	23,4	54		24,7	50		23,5	51		23,8	51		24,8	48	
12h	23	59	23,3	54	26,6	24,5	50	25,6	23,3	51	24,8	24,1	50	29,2	25,1	47	32,4
13h	24	55	24,4	53		25,6	49		24,5	50		25,6	48		26,7	45	
14h	25	52	25,7	49		27,4	44		26,1	46		27,4	44		27,8	42	
15h	24	51	27,3	46	29,8	29,2	41	30,8	27,7	43	28,4	29,0	40	36,4	28,9	40	33,8
16h	21	59	28,5	43		30,1	39		28,7	40		29,7	38		29,3	38	

Fonte: Autora, 2017.

Ao contrário do verão, no inverno a consideração a ser feita dentro dos protótipos é quanto maior a temperatura interna melhor o desempenho térmico da cobertura leve. Assim, o Quadro 17 exibe as médias obtidas dentro dos cinco protótipos para poder analisar que a temperatura interna média das cinco coberturas leves tem valores muito próximos, porém a Telha leve de PVC - é a que apresenta maior temperatura interna dentro dos protótipos. E a Telha de aço galvanizado termoacústica com EPS obteve a temperatura mais baixa e percentual de umidade baixo também.

**Quadro 17 – Média dos dados do solstício de inverno**

Estação meteorológica		Telha com conteúdo reciclado Polietileno-Alumínio			Telha Aço galvanizado ondulada			Telha Aço galv. Termoacústica com EPS			Telha de Fibrocimento			Telha PVC		
Temp. externa (°C)	HR externa (%)	Temp. interna (°C)	HR (%)	Temp. Superfície (°C)	Temp. Interna (°C)	HR (%)	Temp. Superfície (°C)	Temp. interna(°C)	HR (%)	Temp. Superfície (°C)	Temp. interna(°C)	HR (%)	Temp. Superfície (°C)	Temp. Interna (°C)	HR (%)	Temp. Superfície (°C)
<b>Média dos valores no dia 20/06</b>																
20,8	70	23	65	23,7	23,2	63	25	22,4	54	25,1	23	62	24,7	24,1	58	25,5
<b>Média dos valores no dia 21/06</b>																
20,1	70	25,1	55	28,8	25,9	53	30,3	24,6	52	28,7	25,3	53	29,1	26,8	49	33,5
<b>Média dos valores no dia 22/06</b>																
21,2	63	24,3	53	26,7	25,6	49	29	24,5	50	28,3	25	49	29	25,6	47	30,4
<b>Média dos três dias</b>																
20,7	68	24	58	26,4	25	55	28,1	24	52	27,4	24	55	27,6	25,5	51	29,8

**Fonte: Autora, 2017.**

No geral os valores não se distanciam muito uns dos outros, tanto de temperatura quanto umidade, mas ao observar o Quadro 18 a seguir, a telha que proporcionou melhor “conforto térmico” ao ambiente dos protótipos durante medição de temperatura e umidade nos três dias foi a cobertura leve com Telha de PVC.

A NBR 15.575-1 (ABNT, 2013a) determina que os valores mínimos diários da temperatura do ar interior de recintos de permanência prolongada, como, por exemplo, escritórios, em um dia típico de inverno, devem ser maiores ou iguais que a temperatura externa acrescida de 3°C (nível mínimo M).

Portanto, esta análise foi feita para os dados do terceiro dia de medição como designado pela Norma de Desempenho, onde obtém-se a temperatura mínima externa de 13 graus Celsius.

O Quadro 18 seguinte exhibe os valores obtidos de Temperatura Interna Mínima ( $T_{i\min}$ ) registrada dentro dos protótipos e a média das temperaturas internas registradas dentro dos protótipos ao longo do dia (22/06) no horário de medição (8h às 15h) somente para efeito de comparação.

**Quadro 18** – Níveis de desempenho obtido pelas coberturas leves para o inverno

Coberturas Leves	Temperatura Interna Mínima registrada nos Protótipos (°C)	Média da Temperatura Interna Mínima (°C)* – 8h às 15h	Níveis de Desempenho (NBR 15.575)
Telha de Polietileno-alumínio	20	23,8	Intermediário (I) $T_{i\min} \geq T_{e\min} + 5^{\circ}\text{C}$ $T_{e\min} = 14 + 5 = 19^{\circ}\text{C}$
Telha de Aço galv. ondulada	20,4	25,1	Abaixo de $16^{\circ}\text{C}$ = Desempenho não atestado pela norma
Telha de Aço galv. termoacústica	19,8	23,8	*Apenas para efeito de comparação, pois a Norma não estipula trabalhar com o valor médio.
Telha de Fibrocimento	20	24,4	Superior (S) $T_{i\min} \geq T_{e\min} + 7^{\circ}\text{C}$ $T_{e\min} = 14 + 7 = 21^{\circ}\text{C}$
Telha de PVC	19,9	25,2	Mínimo (M) $T_{i\min} \geq T_{e\min} + 3^{\circ}\text{C}$ $T_{e\min} = 14^{\circ}\text{C} + 3 = 17^{\circ}\text{C}$

Fonte: Autora, 2017.

Como observado no Quadro 18, as cinco coberturas leves analisadas possuem Desempenho Térmico Intermediário (I) de acordo com o estipulado pela norma, e quando se obtém a média das Temperaturas Internas registradas dentro dos protótipos ao longo do dia de medição o resultado é melhor ainda, pois todas as telhas atendem com nível Superior de desempenho.

Porém, a cobertura leve que se destaca positivamente no inverno foi a Telha em aço galvanizado ondulada com os melhores índices, e a Telha em aço galvanizado termoacústica apresentou os piores índices.

Portanto, a análise do experimento foi importante para determinar que existe correlação inversa entre os desempenhos das telhas durante as duas estações. Porém, como o Brasil é um país de clima subtropical onde predominam temperaturas altas ao longo do ano, é difícil garantir um equilíbrio entre as estações e o desempenho térmico das coberturas leves.

Os dados de campo levantados sobre o desempenho térmico e apresentados neste capítulo serão utilizados no protocolo final das telhas, para compor o fator “desempenho térmico”.

## 7 DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DO PROTOCOLO

Os próximos subitens demonstram o processo de elaboração de protocolo para seleção das coberturas leves e posteriormente o protocolo para seleção dos contêineres e, por fim, uma proposta geral de aplicação do protocolo de menor impacto para componentes e materiais destinados às IPC.

O processo de construção e aplicação do protocolo de seleção será apresentado em função dos produtos trabalhados na tese, inicialmente a telha (cobertura leve) e, em seguida, o contêiner, pois, cada um tem suas particularidades.

A aplicação de CBA para telhas ocorreu no Brasil e como introduzido anteriormente contou com apoio dos métodos AHP para correta elaboração do protocolo. A seguir são apresentados os resultados obtidos na construção deste protocolo.

### 7.1 Processo de elaboração do Protocolo para seleção de coberturas leves

Após as análises anteriores simplificadas, (a) emissão de CO<sub>2eq</sub> no transporte das telhas e a (b) medição do desempenho térmico no verão e inverno, tornou-se possível a aplicação do protocolo de seleção para as coberturas leves para IPC. Dessa forma, elaborou-se o processo de tomada de decisão com dois grupos de tomada de decisão, conforme descrito a seguir.

#### 7.1.1 Grupo de tomadores de decisão

É sabido que a decisão multicritério é caracterizada por grupos de pessoas com opiniões diversas. Portanto, distinguiu-se dois grupos de tomada de decisão, sendo que o grupo 1 que fez a identificação dos fatores relevantes de se analisar para coberturas leves de IPC foi definido pela literatura. Com base no estudo de Arroy, Tommelein e Ballard (2015) que aplicou CBA para seleção de forros utilizando fatores baseados na sustentabilidade que é o mesmo princípio do presente estudo.

Já o segundo grupo de tomada de decisão foi formado por equipe de gestão de canteiro de obra de uma empresa construtora na cidade de São Carlos, SP, certificada com selo de qualidade ambiental AQUA.

#### **7.1.1.1 Grupo 1 - Identificação dos fatores**

Os fatores (etapa 2 de CBA) foram selecionados por meio de revisão bibliográfica de aplicações de CBA. Verificou-se o estudo de Arroyo, Tommelein e Ballard (2015) que propõem a aplicação do método para um material também utilizado em coberturas leves que são os forros. Os fatores utilizados por estes autores para a seleção de um forro mais sustentável foram: acústica, durabilidade, barreira anti-microbiana, peso, isolamento, emissão de compostos orgânicos voláteis e potencial de aquecimento global.

Como os forros fazem parte do sistema de cobertura de uma edificação, os fatores para cobertura leve propostos foram baseados neste estudo, porém alguns foram excluídos, como a questão da acústica. Outros fatores foram apoiados na literatura pertinente às IPC, conforme já apresentado.

#### **7.1.1.2 Grupo 2 - Ponderação dos fatores pelos profissionais de canteiro**

O peso atribuídos aos fatores (etapa 6 de CBA) foram definidos por uma equipe de gerenciamento de canteiro de obras constituída por: um engenheiro ambiental que é responsável pelos requisitos de certificação ambiental, um engenheiro civil com a função de gestor de obras, um mestre de obras e um assistente de engenharia.

Solicitou-se que a equipe de projeto do canteiro de obras respondesse com seus níveis de preferência entre um fator e outro para determinar qual seria mais importante.

#### **7.1.2 Resultado do método CBA para as telhas**

Após definição dos tomadores de decisão, foi possível aplicar as sete etapas de CBA para analisar os resultados obtidos na seleção de cobertura leve de menor impacto para IPC, conforme a metodologia descrita neste estudo.

Apesar do fator “Emissão de CO<sub>2eq</sub>” constar no levantamento de prioridades junto à equipe do canteiro de obras, nesta análise foi retirada a consideração deste fator por não ter se determinado os valores de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) para cada telha e respectiva inclusão dos dados para comparação.

O Quadro 19 seguinte exhibe a aplicação do protocolo conforme método Tabular CBA com todas as características adquiridas durante a aplicação das sete etapas nesta pesquisa conforme proposto pelo método de SUHR (1990).



**Quadro 19** – Protocolo do método CBA aplicado às telhas

FATORES	PESO ESPECIALISTAS	ALTERNATIVAS							
		TELHA COM CONTEÚDO RECICLADO POLIETILENO-ALUMÍNIO	TELHA ONDULADA NATURAL – AÇO GALVANIZADO	TELHA TERMOACÚSTICA NATURAL – AÇO GALVANIZADO	TELHA FIBROCIMENTO ONDULADA	DE	TELHA DE PVC – MODELO COLONIAL		
1- PESO Critério: <i>Mais leve melhor – até 5kg/m²</i>	10	Atributos: 7 kg/m² Vantagem: 0	Atributos: 4,1 kg/m² Vantagem: Mais leve 10	Atributos: 8,7 kg/m² Vantagem: 0	Atributos: <u>12,8 kg/m²</u> Vantagem: 0	Atributos: 4,4 kg/m² Vantagem: 10			
2- ESTÉTICA Critério: <i>Mais bonita melhor</i>	15	Atributos: Não é bonita, mas não desvaloriza o produto (IPC) no todo 1 Vantagem:	Atributos: Bonita, mas não passa impressão de qualidade 2 Vantagem:	Atributos: Mais bonita, agrega valor ao produto e da impressão de alta qualidade 15 Vantagem: Design mais bonito	Atributos: Não é bonita, mas não desvaloriza o produto (IPC) no todo 1 Vantagem:	Atributos: Imita telha cerâmica, muito bonita, lembra construções permanentes, mas aparenta fragilidade 5 Vantagem:			
3-BARREIRA ANTI MICROBIANA/ ANTI OXIDAÇÃO Critério: <i>Possuir melhor</i>	30	Atributos: Não possui processo específico, porém a película de polietileno impede proliferação de fungos 15 Vantagem:	Atributos: Zincagem 30 Vantagem: Possui no processo de fabricação	Atributos: Zincagem 30 Vantagem: Possui no processo de fabricação	Atributos: <u>Não possui</u> 0 Vantagem:	Atributos: Não possui processo específico, porém a não porosidade do material impede proliferação de fungos 15 Vantagem:			
4-CONTROLE DE MATÉRIA- PRIMA Critério: <i>Possuir melhor</i>	75	Atributos: Controle rigoroso dos fornecedores de matéria-prima e para separação dos reciclados que compõem as telhas 75 Vantagem: Excelente controle	Atributos: Confia no aço entregue pelas siderúrgicas 10 Vantagem: não controla na fábrica	Atributos: Confia no aço entregue pelas siderúrgicas 10 Vantagem: não faz controle na fábrica	Atributos: Processo rigoroso de recebimento de materiais (ISO 9001) 75 Vantagem: ótimo controle	Atributos: Processo rigoroso de recebimento de materiais (ISO 9001) 75 Vantagem: ótimo controle			

FATORES	PESO ESPECIALISTAS	ALTERNATIVAS									
		TELHA COM CONTEÚDO RECICLADO POLIETILENO-ALUMÍNIO		TELHA ONDULADA NATURAL – AÇO GALVANIZADO		TELHA TERMOACÚSTICA NATURAL – AÇO GALVANIZADO		TELHA FIBROCIMENTO ONDULADA DE		TELHA DE PVC – MODELO COLONIAL	
5-GARANTIA Critério: <i>Mais tempo melhor</i>	95	Atributos: 5 anos e 3 meses Vantagem: mais tempo 95		Atributos: 1 ano, tempo mínimo que o fabricante deve fornecer Vantagem: - 0		Atributos: 1 ano, tempo mínimo que o fabricante deve fornecer Vantagem: - 0		Atributos: 5 anos Vantagem: oferece mais que o mínimo 50		Atributos: 5 anos Vantagem: oferece mais que o mínimo 50	
6-QUANTIDADE DE RECICLADOS Critério: <i>Maior quantidade melhor</i>	70	Atributos: 85% Polietileno de reuso 15% Alumínio de reuso Provenientes de embalagens tipo Longa Vida Vantagem: 98% composta por reciclados e 100% reciclável 70		Atributos: O percentual de materiais utilizados nesta telha não foi fornecido pela fábrica, mas não utiliza aço reciclado Estima-se : 98% de aço 2% de zinco Vantagem: 98% composta por material reciclável 0		Atributos: O percentual de materiais utilizados nesta telha não foi fornecido pela fábrica, mas não utiliza aço reciclado. Estima-se 68% de aço 2% de zinco 30% de EPS Vantagem: 90% composta por material reciclável 0		Atributos: Cimento: 65 a 75% Calcário: 20 a 30% Celulose: 4 a 8% Fibra sintética: 2 a 4% Vantagem: 96% composta por material reciclável, mas não reciclado 0		Atributos: 50% Resina PVC 40% Carbonato de Cálcio 10% Estabilizantes Vantagem: 100% composta por materiais recicláveis, mas não reciclado 0	
7-POSSIBILIDADE DE RECICLAGEM Critério: <i>Mais vezes melhor</i>	80	Atributos: Sim, o produto já é concebido a partir da reciclagem, e após isso ainda se recicla por 5 vezes no máximo sem perder propriedades Vantagem: 10		Atributos: Sim, infinitas vezes, porém só se recicla para chapas galvanizadas com mesma liga, porque se for preciso o processo de retirada do zinco do aço é caro e consome muita energia Vantagem: reciclável 100% e inúmeras vezes 80		Atributos: Sim, infinitas vezes, porém o processo de retirada do zinco do aço é caro e consumidor de energia e o EPS tem uma certa limitação de reciclagem, diferente do aço Vantagem: 70		Atributos: Sim, esse produto é livre de amianto em sua composição, e pode ser reciclado com alguma limitação de vezes sem perder suas propriedades Vantagem: 10		Atributos: Sim, muitas vezes, onde se reaproveita todos os componentes na reciclagem Vantagem: Mais vezes com aproveitamento de 100% dos componentes 70	

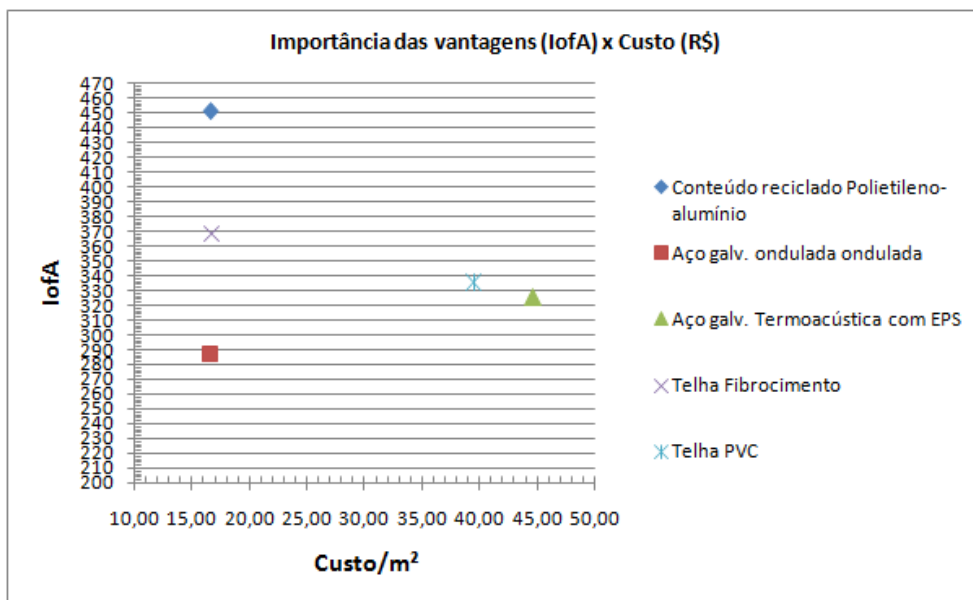
FATORES	PESO ESPECIALISTAS	ALTERNATIVAS									
		TELHA COM CONTEÚDO RECICLADO POLIETILENO-ALUMÍNIO	TELHA ONDULADA NATURAL – AÇO GALVANIZADO	TELHA TERMOACÚSTICA NATURAL – AÇO GALVANIZADO	TELHA FIBROCIMENTO ONDULADA	DE	TELHA DE PVC – MODELO COLONIAL				
8- DESEMPENHO TÉRMICO Critério: <i>quanto menor o índice de temperatura média interna melhor, tanto no verão quanto no inverno</i>	90	Atributos: 26,7 Vantagem: Menor média de temperatura interna nas IPC durante verão e inverno	90	Atributos: 27,5 Vantagem:	35	Atributos: 26,7 Vantagem: Menor média de temperatura interna nas IPC durante verão e inverno	90	Atributos: 27,4 Vantagem:	40	Atributos: <u>28,2</u> Vantagem:	20
9- DURABILIDADE Critério: <i>Maior durabilidade melhor</i> (1 ano de verificação)	100	Atributos: Boa durabilidade, mudou a cor Vantagem:	5	Atributos: Boa durabilidade Vantagem:	20	Atributos: Aço durável, EPS nem tanto Vantagem:	10	Atributos: Melhor durabilidade Vantagem: Visivelmente, apresentou melhor durabilidade após 1 ano	100	Atributos: <u>Quebrou uma quina, muito frágil aos impactos, mas a cor permaneceu boa</u> Vantagem:	5
10- CONSIDERAÇÕES DIMENSIONAIS Critério: <i>Maior flexibilidade melhor</i>	95	Atributos: <u>apenas 1 opção de largura e comprimento</u> Vantagem:	0	Atributos: comprimento feito sob medida e largura fixa Vantagem: Maior flexibilidade	95	Atributos: comprimento feito sob medida e largura fixa Vantagem: Maior flexibilidade	95	Atributos: 7 diferentes opções de comprimento e 2 opções de largura Vantagem:	70	Atributos: 6 diferentes opções de comprimento, 2 opções de largura Vantagem:	70
11- FACILIDADES DO MATERIAL Critério: <i>Maior número de facilidades melhor</i>	90	Atributos: Matéria-prima vinda de regiões próximas, processo de fabricação simples, com estoques	90	Atributos: matéria-prima vinda de regiões próximas, processo de fabricação personalizado, sem estoques	5	Atributos: matéria-prima vinda de regiões próximas, processo de fabricação personalizado, sem estoques	5	Atributos: matéria-prima importada, processo de fabricação simples, com estoques	20	Atributos: matéria-prima não advinda da região, processo de fabricação simples, com estoques	20

FATORES	PESO ESPECIALISTAS	ALTERNATIVAS				
		TELHA COM CONTEÚDO RECICLADO POLIETILENO-ALUMÍNIO	TELHA ONDULADA NATURAL – AÇO GALVANIZADO	TELHA TERMOACÚSTICA NATURAL – AÇO GALVANIZADO	TELHA FIBROCIMENTO ONDULADA	TELHA DE PVC – MODELO COLONIAL
1) disponibilidade do material com relação a quantidade em estoque, 2) facilidade na fabricação deste, e 3) se as matérias-primas são advindas de regiões próximas.		Vantagem:	Vantagem:	Vantagem:	Vantagem:	Vantagem:
TOTAL Importância de Vantagens (IofA)	451	<u>287</u>	325	366	290	

Fonte: Autora, 2018.

Para completar a análise do método CBA, tem-se a representação gráfica (Figura 46) da relação Importância das Vantagens – IofA, pelo custo em reais por metro quadrado (R\$/m<sup>2</sup>) das telhas.

**Figura 46** – IofA versus custo/m<sup>2</sup> das telhas



Fonte: Autora, 2018.

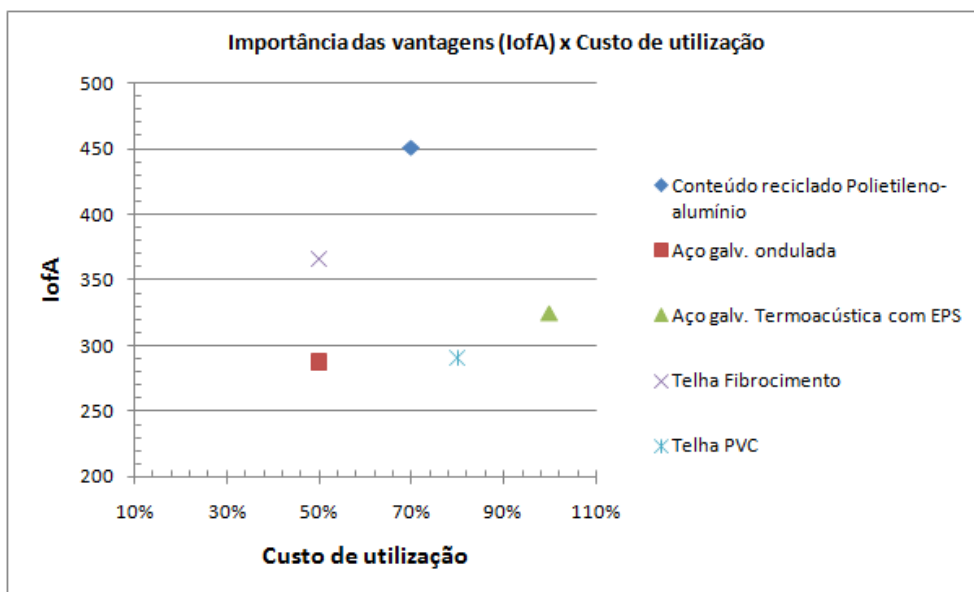
Assim, concluiu-se que a melhor alternativa para cobertura leve de menor impacto em IPC por meio do método CBA é sequencialmente: Telha com conteúdo reciclado Polietileno-alumínio, Telha em fibrocimento, Telha em aço galvanizado termoacústica com EPS, Telha de PVC e Telha em aço galvanizado ondulada.

Pode-se considerar que os dois piores resultados obtidos, telhas em PVC e em aço galvanizado ondulada, respectivamente, devem-se ao alto custo destas telhas, o que inviabiliza a seleção dessas coberturas leves para IPC, mesmo sob os aspectos da sustentabilidade. Além disso, a Telha em PVC obteve baixo nível de desempenho térmico obtido pelos testes *in situ* na zona bioclimática de São Carlos.

Dessa forma, pode-se afirmar que o CBA classificou que a telha com menor impacto para seleção de IPC foram as **coberturas leves com conteúdo reciclado em Polietileno-alumínio**. O valor de IofA obtido pode ser comparado com outros custos estabelecidos anteriormente pelos tomadores de decisão (Apêndice B), com o custo inicial de aquisição do material (valor de mercado), custo de instalação e custo de manutenção, que pode ser considerado o custo de utilização das telhas.

A seguir a Figura 47 ilustra o gráfico comparativo da IofA com o custo de utilização do produto.

**Figura 47** – IofA versus custo de utilização das telhas



Fonte: Autora, 2018.

Na análise da Figura 47, nota-se que a melhor opção neste caso agora é a **Telha em fibrocimento**, caracterizada no Apêndice B com custo de instalação no máximo de 10%. Sabe-se que o custo de instalação está embutido na montagem das IPC, porque normalmente a equipe terceirizada para montagem das IPC inclui instalação da cobertura. A manutenção da Telha em fibrocimento foi dada pelos respondentes com um gasto de no máximo 30% e o valor de aquisição é de 10%.

As duas opções menos preferíveis nesta perspectiva do custo, continuam sendo as telhas de PVC e Aço galvanizado termoacústica que são mais caras, e possuem o valor de manutenção mais elevados que as outras alternativas.

### 7.1.3 Resultado do método AHP para as telhas

Conforme mencionado anteriormente, os julgamentos matriciais para os critérios em questão foram realizados por uma equipe de gerenciamento de canteiro de obras, em uma empresa construtora (Apêndice C). Desta forma, as cinco telhas tiveram os três critérios - aspectos ambientais, sociais, econômicos, e também os quinze subcritérios/fatores comparados par a par. Resultando em cinco matrizes de terceira ordem para os critérios, e quinze matrizes de quinta ordem para os subcritérios.

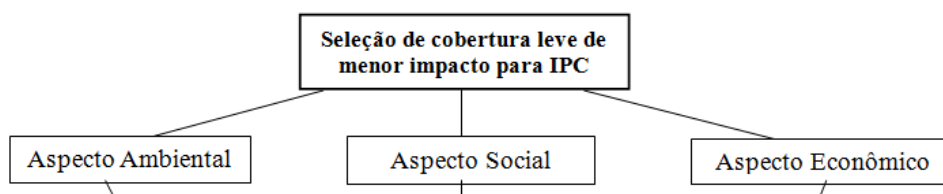
Aplicando a teoria AHP no estudo proposto, tem-se cinco alternativas de coberturas leves a ser comparadas, e três critérios principais estipulados para análise, que se originam quinze subcritérios para o objetivo requerido.

A seguir são apresentadas as matrizes com os julgamentos dados pela equipe gestora que a partir do objetivo proposto “seleção de coberturas leves de menor impacto para IPC” atribuíram as notas conforme a escala de Saaty (1990) direcionadas pelo preenchimento do Apêndice C.

Depois de aplicado o Apêndice C pode-se encontrar os pesos dos critérios pré-determinados pelos cálculos desta pesquisa (Apêndice D) e então é apresentada a compilação dos dados por meio das matrizes de comparação par a par.

Primeiramente julgaram-se os aspectos ambientais, sociais, econômicos, que conforme a hierarquia na Figura 48 correspondem aos critérios desta metodologia.

**Figura 48 – Hierarquia adotada**



**Fonte: Autora, 2018.**

**Quadro 20 – Julgamento paritário aspectos telha com conteúdo reciclado Polietileno-alumínio**

	Aspecto Ambiental	Aspecto Social	Aspecto Econômico
Aspecto Ambiental	1	5	4
Aspecto Social	1/5	1	1/4
Aspecto Econômico	1/4	4	1

**Fonte: Autora, 2018.**

**Quadro 21 – Julgamento paritário aspectos telha aço galvanizado ondulada**

	Aspecto Ambiental	Aspecto Social	Aspecto Econômico
Aspecto Ambiental	1	1	1/3
Aspecto Social	1/1	1	1/3
Aspecto Econômico	3	3	1

**Fonte: Autora, 2018.**

**Quadro 22** – Julgamento paritário aspectos telha aço galvanizado trapezoidal termoacústica com EPS

	Aspecto Ambiental	Aspecto Social	Aspecto Econômico
Aspecto Ambiental	1	5	4
Aspecto Social	1/5	1	1/4
Aspecto Econômico	1/4	4	1

Fonte: Autora, 2018.

**Quadro 23** – Julgamento paritário aspectos telha fibrocimento

	Aspecto Ambiental	Aspecto Social	Aspecto Econômico
Aspecto Ambiental	1	1	3
Aspecto Social	1/1	1	1
Aspecto Econômico	1/3	1/1	1

Fonte: Autora, 2018.

**Quadro 24** – Julgamento paritário aspectos telha PVC

	Aspecto Ambiental	Aspecto Social	Aspecto Econômico
Aspecto Ambiental	1	1	1/4
Aspecto Social	1/1	1	1/4
Aspecto Econômico	4	4	1

Fonte: Autora, 2018.

Realizando os cálculos conforme dados expostos na estruturação do método AHP, na comparação entre os critérios aspecto ambiental (AA), aspecto social (AS), aspecto econômico (AE), o Quadro 25 seguinte exibe os valores das Prioridades Média Locais (PML), lâmbida máximo ( $\lambda_{max}$ ), Índice de Consistência (IC) e Razão de Consistência (RC) de cada matriz exposta anteriormente.

**Quadro 25** – Valores de AHP aplicado às telhas

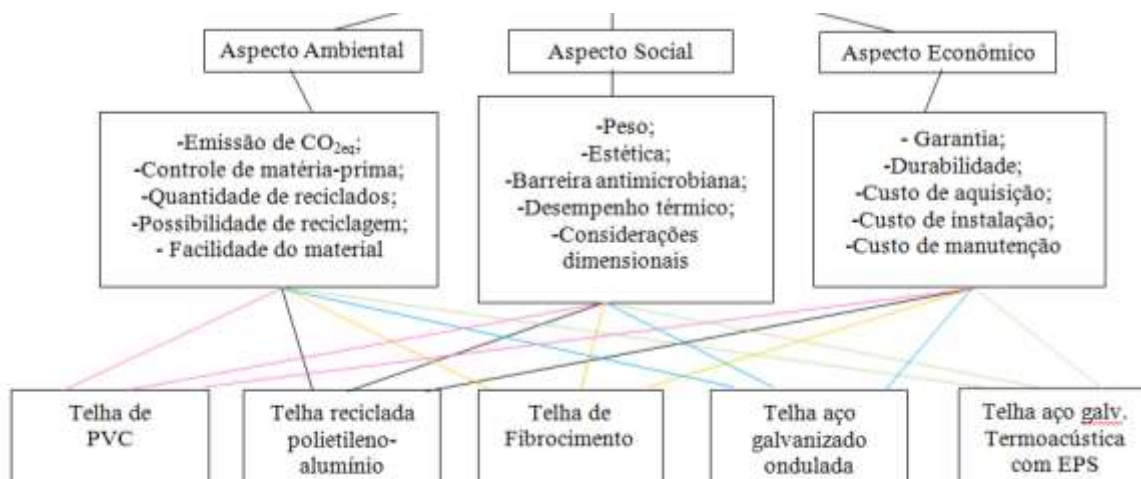
CRITÉRIOS	Telha polietileno-alumínio			Telha aço galvanizado ondulada			Telha aço galvanizado termoacústica			Telha fibrocimento - ondulada			Telha PVC – estilo colonial		
	AA	AS	AE	AA	AS	AE	AA	AS	AE	AA	AS	AE	AA	AS	AE
<b>PML</b>	0,65	0,09	0,25	0,45	0,17	0,17	0,67	0,32	0,22	0,20	0,20	0,60	0,65	0,09	0,25
<b><math>\lambda_{max}</math></b>	3,23			2,99			3,23			3,14			3		
<b>IC</b>	0,11			-0,00			0,11			0,07			0		
<b>RC</b> OBS: deve ser $\leq 0,1$ ou 10%	0,19			-0,00			0,19			0,12			0		

Fonte: Autora, 2018.



Depois julgou-se os subcritérios contidos nos critérios para os cinco tipos de telhas, que conforme a hierarquia na Figura 49 são os subcritérios.

**Figura 49** – Hierarquia dos subcritérios



Fonte: Autora, 2017.

O Apêndice D exibe as matrizes e o cálculo detalhado dos cinco subcritérios contidos para exemplificar como é feito o cálculo pelo método de Saaty (1990), também o momento exato em que utiliza-se os valores para o método Tabular CBA proposto nesta pesquisa.

Seguindo o método proposto por Saaty (1990), após cálculo destas matrizes, foram verificadas a inconsistência de cada uma, conforme o método a AHP. O Quadro 26 seguinte exibe os valores de lâmbida máximo ( $\lambda_{max}$ ), Índice de Consistência (IC) e Razão de Consistência (RC) de cada matriz.

**Quadro 26** – Valores de lâmbida máximo, índice de consistência e razão de consistência

	Telha polietileno-alumínio					Telha aço galvanizado ondulada					Telha aço galvanizado termoacústica					Telha fibrocimento					Telha PVC				
<b>CRITÉRIO</b>	<b>Ambiental</b>					<b>Ambiental</b>					<b>Ambiental</b>					<b>Ambiental</b>					<b>Ambiental</b>				
<b>SUB-CRITÉRIOS</b>	CO <sub>2</sub> eq	C M P	P R	Q T R	F M	CO <sub>2</sub> eq	C M P	PR	Q T R	FM	CO <sub>2</sub> eq	C M P	P R	Q T R	F M	CO <sub>2</sub> eq	C M P	P R	Q T R	FM	CO <sub>2</sub> eq	C M P	P R	Q T R	F M
$\lambda_{max}$	5,12					5,65					5,48					5,29					5,34				
<b>IC</b>	0,03					0,16					0,12					0,07					0,08				
<b>RC</b>	0,03					0,14					0,11					0,06					0,07				
<b>CRITÉRIO</b>	<b>Social</b>					<b>Social</b>					<b>Social</b>					<b>Social</b>					<b>Social</b>				
<b>SUB-CRITÉRIOS</b>	D T	P E	B A M	C D	E S T	DT	PE	B A M	CD	E S T	D T	P E	B A M	C D	E S T	DT	PE	B A M	CD	E S T	D T	P E	B A M	C D	E S T
$\lambda_{max}$	5,09					5,02					5,53					5,47					5				
<b>IC</b>	0,03					0,00					0,13					0,12					0				
<b>RC</b>	0,02					0					0,12					0,10					0				
<b>CRITÉRIO</b>	<b>Econômico</b>					<b>Econômico</b>					<b>Econômico</b>					<b>Econômico</b>					<b>Econômico</b>				
<b>SUB-CRITÉRIOS</b>	C A	G T	D R	C I	C M	CA	GT	DR	C I	CM	C A	G T	D R	C I	C M	CA	GT	DR	C I	C M	C A	G T	D R	C I	C M
$\lambda_{max}$	5,37					5,43					5,48					5,08					5,14				
<b>IC</b>	0,09					0,11					0,12					0,02					0,04				
<b>RC</b> OBS: deve ser ≤ 0,1 ou 10%	0,08					0,09					0,11					0,02					0,03				

Fonte: Autora, 2018.

Nos Quadros 25 e 26 podem ser verificados também os pesos dos subcritérios ambientais: Emissão de dióxido de carbono equivalente ( $CO_{2eq}$ ) que correspondem a emissões de transporte da fábrica até o canteiro de obras, controle de matéria-prima (CMP) realizada nas fábricas, possibilidade de reciclagem (PR) do material após uso/descarte, quantidade de reciclados (QTR) presente no material, ou seja, se a telha foi produzida de matérias-primas já processadas ou virgens, facilidade do material (FM) - que leva em consideração o uso de matérias-primas advindas da região da fábrica, a existência de disponibilidade/estoque das telhas e até mesmo a facilidade no momento da fabricação das telhas.

Na sequência, os subcritérios sociais: desempenho térmico (DT), peso (PE) das telhas, barreira anti-microbiana (BAM), considerações dimensionais (CD) das telhas, estética (EST). E depois os subcritérios econômicos: custo de aquisição (CA), tempo de garantia (GT) fornecida pelo fabricante, durabilidade (DR) das telhas, custo de instalação (CI) e custo de manutenção (CM).

Em análise ao Quadro 26 exposto anteriormente, pode-se averiguar que as coberturas analisadas sob o ponto de vista ambiental possuem valores de RC mais alto que 0,1, ou seja, é uma matriz inconsistente que deveria ser recalculada com outros valores. Porém, foi entendimento da pesquisadora que os valores dados pelos tomadores de decisão não poderiam ser alterados. A consideração do aspecto ambiental ser mais elevado que os outros aspectos talvez não seja coerente com o padrão que ocorre durante a seleção das coberturas leves para IPC, mas convém ressaltar que havia um engenheiro ambiental na equipe do canteiro de obras que desempenhava funções de promoção da sustentabilidade no âmbito da empresa.

Analisando o Apêndice D, entendeu-se que pelo método AHP para os dois tipos de coberturas leve em aço galvanizado não seriam a melhor decisão para cobrir IPC. De acordo com o método AHP proposto por Saaty (1990), isso implicaria em outros cálculos até ser alcançado melhores índices RC. E a melhor opção seria a cobertura de **Telha de PVC**, seguida sucessivamente pela reciclada de Polietileno-alumínio, fibrocimento, aço galvanizado ondulada e aço galvanizado termoacústica (EPS).

Porém, o dado que contribuiu mais para a pesquisa foram os valores de Prioridade Média Local (PML), que indicam porcentagens encontradas para cada subcritério, possibilitando a investigação do método AHP como é proposto no método CBA, ou seja, ponderando os subcritérios/fatores para visualizar por meio do método Tabular de CBA. O Quadro 27 seguinte ilustra os resultados em porcentagens do impacto de cada subcritério por meio das PML.

**Quadro 27 – Valores PML dos subcritérios em AHP**

		Telha Polietileno-alumínio	Telha aço galvanizado ondulada	Telha aço galv. Termoacústica com EPS	Telha Fibrocimento	Telha PVC
<b>SUBCRITÉRIOS</b>		<b>% de Prioridade Média Local</b>				
<b>Critérios Ambientais</b>	Emissão de CO <sub>2eq</sub>	5,88%	6,98%	7,50%	5,85%	8,15%
	Controle de matéria-prima	20,27%	26,80%	21,76%	30,92%	28,25%
	Possibilidade de reciclagem	<b>37,25%</b>	<b>29,36%</b>	<b>33,43%</b>	<b>33,07%</b>	13,28%
	Quantidade de reciclados	16,90%	20,75%	18,50%	15,96%	9,51%
	Facilidade do material	19,40%	16,11%	18,82%	14,19%	<b>40,81%</b>
<b>Critérios Sociais</b>	Desempenho térmico	28,10%	32,93%	<b>45,03%</b>	<b>41,91%</b>	4,76%
	Peso	28,10%	27,77%	12,21%	20,55%	23,81%
	Barreira antimicrobiana	19,05%	13,88%	20,55%	14,60%	23,81%
	Considerações dimensionais	12,38%	12,86%	12,50%	14,79%	23,81%
	Estética	12,38%	12,55%	9,72%	8,15%	23,81%
<b>Critérios Econômicos</b>	Custo de aquisição	38,86%	8,44%	7,50%	14,69%	29,07%
	Garantia	5,98%	21,64%	21,76%	18,82%	6,71%
	Durabilidade	12,66%	25,73%	<b>33,43%</b>	<b>37,65%</b>	11,41%
	Custo de instalação	31,08%	25,14%	18,50%	14,69%	26,40%
	Custo de manutenção	11,41%	19,04%	18,82%	14,15%	26,40%

Fonte: Autora, 2018.

Quando se definiu que o método AHP poderia auxiliar o CBA, optou-se no sentido de utilizar os percentuais das PML encontradas para cada subcritério e compor o método Tabular CBA para efeito de comparação de resultados. Assim, o próximo item irá abordar a aplicação do AHP no método tabular CBA e fazer as devidas comparações.

#### 7.1.4 Resultado de AHP pontuando em CBA para as telhas

O AHP é um método totalmente matemático que trabalha com números, apesar da escala de pontuação proposta por Saaty (1990) que submete à decisão conjunta para decidir qual o

número irá compor a matriz. Contudo, a decisão final não é embasada em decisão multicritério por pessoas e sim pelas comparações paritárias matriciais.

Aplicando-se o método AHP em CBA, tem-se as porcentagens das PML como atributos dos fatores analisados. Assim, podem ser comparadas para identificar qual a melhor opção como ilustra o Quadro 28 seguinte.

**Quadro 28** – AHP aplicado em CBA com valores de PML

FATORES	PESO ESPECIALISTAS	ALTERNATIVAS							
		TELHA COM CONTEÚDO RECICLADO POLIETILENO-ALUMÍNIO	TELHA ONDULADA NATURAL – AÇO GALVANIZADO	TELHA TERMOACÚSTICA NATURAL – AÇO GALVANIZADO	TELHA DE FIBROCIMENTO ONDULADA	TELHA DE PVC – MODELO COLONIAL			
1- PESO Critério: <i>Mais leve melhor – até 5kg/m²</i>	10	Atributos: 28,10% 0	Atributos: 27,77% 0	Atributos: 12,21% 10	Atributos: 20,55% 0	Atributos: 23,81% 0			
2- ESTÉTICA Critério: <i>Mais bonita melhor</i>	15	Atributos: 12,38% 0	Atributos: 12,55% 0	Atributos: 9,72% 0	Atributos: 8,15% 0	Atributos: 23,81% 15			
3-EMISSÃO DE CO <sub>2eq</sub> Critérios: <i>Menor emissão melhor</i>	25	Atributos: 5,88% 25	Atributos: 6,98% 0	Atributos: 7,50% 0	Atributos: 5,85% 25	Atributos: 8,15% 0			
4-BARREIRA ANTIMICROBIANA/ ANTI OXIDAÇÃO Critério: <i>Possuir melhor</i>	30	Atributos: 19,05% 10	Atributos: 13,88% 0	Atributos: 20,85% 15	Atributos: 14,60% 0	Atributos: 23,81% 30			
5-CONTROLE DE MATÉRIA- PRIMA Critério: <i>Possuir melhor</i>	75	Atributos: 20,27% 30	Atributos: 26,80% 30	Atributos: 21,76% 30	Atributos: 30,92% 75	Atributos: 28,25% 75			
6-GARANTIA Critério: <i>Mais tempo melhor</i>	95	Atributos: 5,98% 0	Atributos: 21,64% 95	Atributos: 21,76% 95	Atributos: 18,82% 0	Atributos: 6,71% 0			
7-QUANTIDADE DE RECICLADOS Critério: <i>Maior quantidade melhor</i>	70	Atributos: 16,90% 0	Atributos: 20,75% 70	Atributos: 18,50% 0	Atributos: 15,96% 0	Atributos: 9,51% 0			

FATORES	PESO ESPECIALISTAS	ALTERNATIVAS							
		TELHA COM CONTEÚDO RECICLADO POLIETILENO-ALUMÍNIO	TELHA ONDULADA NATURAL – AÇO GALVANIZADO	TELHA TERMOACÚSTICA NATURAL – AÇO GALVANIZADO	TELHA DE FIBROCIMENTO ONDULADA	TELHA DE PVC – MODELO COLONIAL			
8-POSSIBILIDADE DE RECICLAGEM Critério: <i>Mais vezes melhor</i>	80	Atributos: 16,90% 10	Atributos: 20,75% 80	Atributos: 18,50% 20	Atributos: 15,96% 10	Atributos: 9,51% 0			
9- DESEMPENHO TÉRMICO Critério: <i>quanto maior o índice de temperatura melhor</i>	90	Atributos: 28,10% 0	Atributos: 32,93% 0	Atributos: 45,03% 90	Atributos: 41,91% 0	Atributos: 4,76% 0			
10- DURABILIDADE Critério: <i>Maior durabilidade melhor</i> (1 ano de verificação)	100	Atributos: 12,66% 0	Atributos: 25,73% 0	Atributos: 33,43% 0	Atributos: 37,65% 100	Atributos: 11,42% 0			
11- CONSIDERAÇÕES DIMENSIONAIS Critério: <i>Maior flexibilidade melhor</i>	95	Atributos: 12,38% 0	Atributos: 25,73% 0	Atributos: 33,43% 0	Atributos: 37,65% 95	Atributos: 23,81% 0			
12- FACILIDADES DO MATERIAL Critério: <i>Maior número de facilidades melhor</i> 1) disponibilidade do material com relação à quantidade em estoque, 2) facilidade na fabricação deste, e 3) se as matérias-primas são advindas de regiões próximas.	90	Atributos: 19,40% 0	Atributos: 16,11% 0	Atributos: 18,82% 0	Atributos: 14,19% 0	Atributos: 40,81% 90			

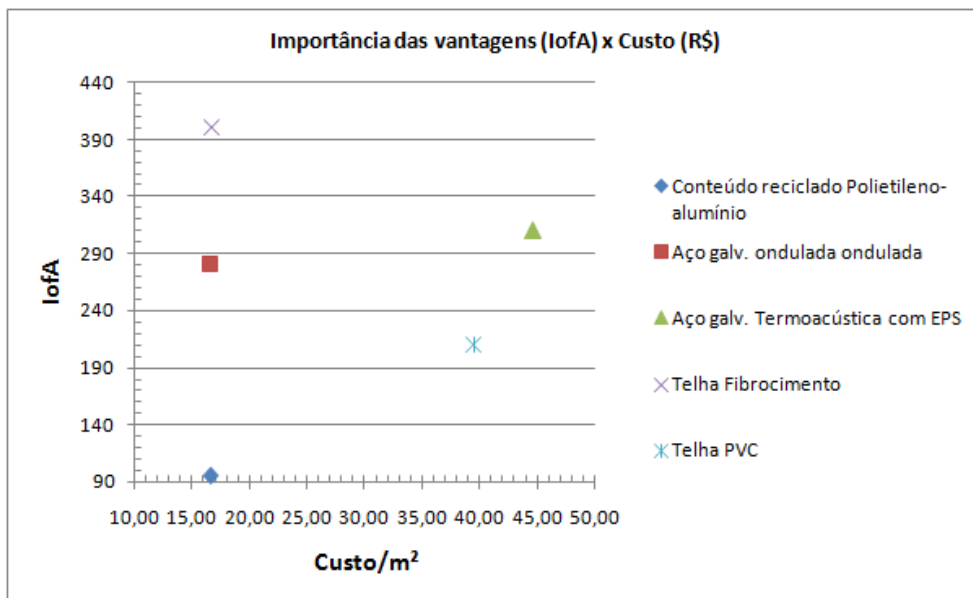
FATORES	PESO ESPECIALISTAS	ALTERNATIVAS				
		TELHA COM CONTEÚDO RECICLADO POLIETILENO-ALUMÍNIO	TELHA ONDULADA NATURAL – AÇO GALVANIZADO	TELHA TERMOACÚSTICA NATURAL – AÇO GALVANIZADO	TELHA DE FIBROCIMENTO ONDULADA	TELHA DE PVC – MODELO COLONIAL
13- CUSTO DE MANUTENÇÃO Critério: <i>Menor, melhor</i>	20	Atributos: 11,41% 20	Atributos: 19,04% 0	Atributos: 18,82% 0	Atributos: 14,15% 0	Atributos: 26,40% 0
14 - CUSTO DE INSTALAÇÃO Critério: <i>Menor, melhor</i>	10	Atributos: 38,86% 0	Atributos: 8,44% 5	Atributos: 7,50% 10	Atributos: 14,69% 0	Atributos: 29,07% 0
15- CUSTO DE AQUISIÇÃO Critério: <i>Menor, melhor</i>	95	Atributos: 31,08% 0	Atributos: 25,14% 0	Atributos: 18,50% 40	Atributos: 14,69% 95	Atributos: 26,40% 0
<b>TOTAL Importância de Vantagens (IofA)</b>		95	280	310	<b>400</b>	210

Fonte: Autora, 2018.



Quando os dados foram transpostos para o gráfico da relação IofA pelo custo por metro quadrado das telhas, tem-se o seguinte resultado, conforme Figura 50.

**Figura 50** – IofA versus custo/m<sup>2</sup> para AHP em CBA



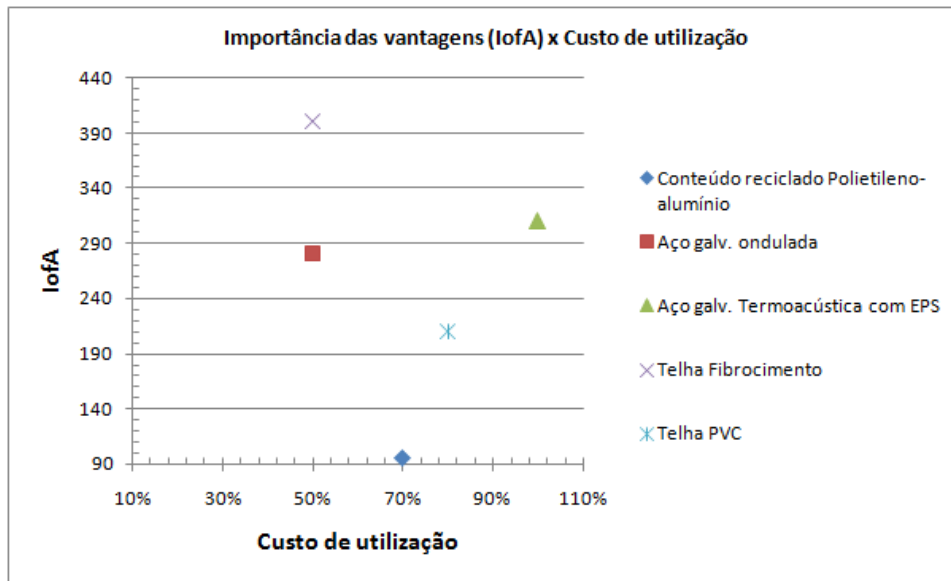
Fonte: Autora, 2018.

De acordo com a Figura 50 exposta, com as PML do método AHP utilizadas para compor o método tabular de CBA, a melhor alternativa para cobertura leve em IPC seria sequencialmente as telhas em: **fibrocimento**, aço galvanizado ondulada, aço galvanizado termoacústica com EPS, PVC e, por último, com conteúdo reciclado de polietileno-alumínio.

Estes resultados devem-se à diferença entre os valores de IofA, que distanciam muito a telha com conteúdo reciclado de Polietileno-alumínio das outras alternativas. Mesmo o custo das telhas de PVC e em aço galvanizado termoacústica com EPS sendo mais alto ainda são melhores alternativas por terem IofA mais elevados. Dessa forma, a alternativa que se destacou como melhor cobertura leve para IPC foi a em fibrocimento.

Em análise do custo de utilização foi considerado a resposta dos tomadores de decisão com custo de instalação igual para todas as telhas, pois o produto IPC é vendido com os custos de instalações das coberturas leves, e de acordo com os respondentes, não se altera devido o tipo de telha. A Figura 51 apresenta os resultados desta análise. Já os custos de manutenção das telhas foram apontados com porcentagem de 50% para as telhas com conteúdo reciclado Polietileno-alumínio e aço galvanizado termoacústica, e para as outras alternativas, PVC, fibrocimento e aço galvanizado ondulada em torno de 30%.

**Figura 51** – IofA versus custo de utilização de AHP em CBA



Fonte: Autora, 2018.

Esta análise não alterou o resultado de indicação da **telha de fibrocimento** como a melhor opção e a telha com conteúdo reciclado de polietileno-alumínio como a pior opção.

#### 7.1.5 Comparação entre os Métodos de Tomada de Decisão utilizados

De acordo com as análises expostas, utilizando as PML do método AHP para compor o **método tabular de CBA**, a melhor alternativa para cobertura leve em IPC seria sequencialmente as telhas em: **fibrocimento**, aço galvanizado ondulada, aço galvanizado termoacústica com EPS, PVC e, por último, com conteúdo reciclado de polietileno-alumínio. Dados totalmente contraditórios ao que expõe o método AHP, pois a melhor opção de telha calculada pelo **método AHP** do início ao fim seriam sequencialmente: **PVC**, com conteúdo reciclado de Polietileno-alumínio, fibrocimento, aço galvanizado ondulada e aço galvanizado termoacústica com EPS.

Da mesma forma que contradiz os resultados obtidos na aplicação do **método CBA** onde tem-se como melhores alternativas sequencialmente: **telha com conteúdo reciclado Polietileno-alumínio**, telha em fibrocimento, telha em aço galvanizado ondulada, telha PVC e telha em aço galvanizado termoacústica com EPS.

O Quadro 28 apresentado a seguir apresenta a síntese das comparações e classificação de seleção das telhas de acordo com o método, variáveis ou combinações apresentadas. Estão assinaladas em verde as células que correspondem à melhor opção, em vermelho, as piores opções de telhas, de acordo com cada método estudado.

**Quadro 29** – Comparação da classificação das “telhas” segundo os métodos utilizados para seleção do material

Método / alternativas	Telha com conteúdo reciclado polietileno-alumínio	Telha de aço galvanizado ondulada	Telha de aço galvanizado termoacústica	Telha em fibrocimento	Telha de PVC
CBA	1	5	3	2	4
CBA com custo de utilização	3	2	5	1	4
AHP	2	4	5	3	1
AHP em CBA	5	2	3	1	4
AHP em CBA com custo de utilização	5	2	4	1	3

Fonte: Autora, 2018.

O que pode-se averiguar com relação às diferenças dos métodos utilizados foi que, em primeiro lugar com relação ao custo, sabe-se que este aspecto tem maior impacto sobre ambiental e social quando se trata de IPC, e como a telha em aço galvanizado termoacústica com EPS é significativamente mais cara que as outras, coincidiu desta não ser a alternativa preferível em dois métodos aplicados.

O AHP faz a análise do custo de forma conjunta, ou seja, entende-se que são analisados três critérios: ambiental, social e econômico, que têm mesmo peso na avaliação. O CBA faz esta análise individualmente, pois leva em consideração que o aspecto econômico é mais considerado quando comparado aos outros pelos agentes da construção civil, porém não descaracteriza o método e também o resultado com base na sustentabilidade.

O uso de AHP em CBA, reproduz outro resultado, algo mais próximo do que se é observado na realidade das obras atuais. O resultado obtido com os métodos mesclados, prova que os dois métodos multicritérios estudados funcionam em harmonia e que se torna importante continuar análises de comparação entre os métodos.

Em análise ao Quadro 28, observou-se que o custo de utilização das telhas quando levado em consideração altera os resultados, e nem sempre isso acontece na prática dos canteiros.

O CBA demonstrou-se um método adequado a este estudo, apesar de alguns pontos de subjetividade, a literatura menciona que isto é normal nos métodos multicritérios em geral.

O AHP apresentou um resultado satisfatório, mas quando leva-se em consideração uma tomada de decisão embasada na sustentabilidade, esperava-se que a telha melhor pontuada fosse a que apresentasse conteúdo reciclado em polietileno-alumínio.

Destaca-se a telha de fibrocimento com melhores resultados entre as coberturas leves analisadas na maioria das situações.

Após exposição dos resultados para telhas, e como confirmação da possibilidade de reaplicação do protocolo de seleção de materiais sustentáveis, apresenta-se a seguir a pesquisa realizada com os contêineres utilizados para IPC.

## **7.2 Processo de elaboração do protocolo para seleção de contêineres**

O protocolo de seleção também foi aplicado a seguir para componentes de IPC, e não necessariamente para um tipo de material isolado como a telha para cobertura leve. Conforme já mencionado, esta investigação foi conduzida em canteiros de obra localizados em Portugal.

### **7.2.1 Condições dos canteiros de obra em Portugal**

Há algumas diferenças importantes de serem citadas entre Brasil e Portugal com relação à disposição de recursos naturais, clima, mão de obra e tecnologias utilizadas nos canteiros de obras. O Brasil possui excesso do uso de madeira em canteiros, o que não ocorre em Portugal, que se utiliza de contêineres para instalação das áreas de vivência e administrativas.

Outro ponto é a diferença climática dos países em questão. No Brasil há predominância de temperaturas elevadas durante o ano todo; e em Portugal predominam as temperaturas mais baixas ao longo do ano. O clima do Brasil dispõe de uma ampla variedade de condições de tempo em uma grande área e topografia variada, mas a maior parte do país é tropical. Portugal possui clima continental temperado mediterrâneo.

Levando isto em consideração, foram visitados três canteiros de obras que utilizam os contêineres como Instalação Provisória de Canteiro (IPC), dois situados na região norte e outro na região central de Portugal. A Figura 52 a seguir exhibe o mapa de Portugal com a divisão das regiões existentes e localização dos canteiros de obra visitados.

**Figura 52** – Divisões das regiões de Portugal e localização dos canteiros de obra visitados






Fonte: <https://www.cultuga.com.br/2016/02/entenda-as-divisoes-do-mapa-de-portugal/>

As zonas climáticas em Portugal foram definidas no Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) aprovado pelo Decreto-Lei n.º 40/90, posteriormente revogado pelo Decreto-Lei n.º 80/2006 com determinadas estratégias bioclimáticas (Gonçalves e Graça, 2004). Assim, essas zonas climáticas e suas características de onde os canteiros de obras foram visitados podem ser verificadas no Quadro 29 seguinte.

Em análise das condições expostas no Quadro 29 pode-se notar que as edificações permanentes das regiões estudadas encontram-se sob condições climáticas muito similares, com exceção de que os concelhos/cidades de Estarreja e Porto que precisam promover ventilação, enquanto o concelho de Guimarães precisa promover inércia nas habitações. Tais situações servem de subsídios para entender melhor as condições de habitabilidade e permanência nas IPC neste país.

**Quadro 30** – Características das zonas climáticas das regiões visitadas

Distrito/Concelho: Aveiro, Estarreja	Distrito/Concelho: Porto, Porto	Distrito/Concelho: Braga, Guimarães
<b>Canteiro 1</b>	<b>Canteiro 2</b>	<b>Canteiro 3</b>
Zona Climática: I <sub>1</sub> V <sub>1</sub>	Zona Climática: I <sub>2</sub> V <sub>1</sub>	Zona Climática: I <sub>2</sub> V <sub>2</sub>
<p><b>Características:</b></p> <p>Climas mais amenos do território continental, fato que é refletido numa menor exigência das condições regulamentares.</p>	<p><b>Características:</b></p> <p>A influência marítima ameniza o Verão, sendo o Inverno mais exigente que o Verão, o que deverá motivar uma maior capacidade do edifício para captar os ganhos solares.</p>	<p><b>Características:</b></p> <p>No Verão, as amplitudes térmicas diárias poderão considerar-se com valores médios, o que já exige cuidados maiores com a inércia térmica dos edifícios.</p>
<p><b>Estratégia Climática:</b></p> <p>Inverno – Restringir condução; promover os ganhos solares. Verão – Restringir condução; restringir ganhos solares <u>dotando os envidraçados de sombreamentos eficazes.</u> <b>Promover ventilação.</b></p>	<p><b>Estratégia Climática:</b></p> <p>Inverno – Restringir condução; promover os ganhos solares. Verão – Restringir condução; restringir ganhos solares. <b>Promover ventilação.</b></p>	<p><b>Estratégia Climática:</b></p> <p>Inverno – Restringir condução; promover os ganhos solares. Verão – Restringir condução; restringir ganhos solares pelo que <u>os envidraçados deverão ser eficazmente sombreados.</u> <b>Promover inércia forte.</b></p>
		

Fonte: adaptado de Gonçalves e Graça (2004).

Dessa forma, considerando estas informações adaptadas para as construções temporárias recomenda-se que as IPC proporcionem qualidade, segurança e conforto aos usuários e que atendam as orientações gerais para as habitações, pois as IPC abrigam trabalhadores da construção durante várias horas de trabalho.

Ou seja, para melhorar a qualidade interna dos ambientes dos contêineres devem ser observadas as condições de trabalho tanto no verão quanto no inverno, pois as obras podem durar em torno de um ano ou mais.

A partir desse aspecto, pode-se mencionar a complexidade de gestão do ambiente de trabalho e a quantidade de itens que precisam ser observados durante a concepção e operação do canteiro de obras e das suas instalações provisórias. Também existe necessidade de critérios para seleção de materiais ou componentes, de forma a serem aproveitadas todas as características do produto com relação aos seus aspectos sociais, ambientais e econômicos.

### **7.2.2 Construção do protocolo de seleção de componentes**

Considerando que um novo produto seria avaliado pelo método de decisão CBA, tornou-se necessário identificar as alternativas existentes e os respectivos fatores e critérios a serem analisados.

O estudo foi conduzido considerando duas fases de tomada de decisão multicritérios. A primeira fase ocorreu com relação aos fatores, tendo como base as referências bibliográficas de seleção multicritérios para outros tipos de materiais. A pesquisadora identificou dezoito fatores possíveis de se verificar no momento de selecionar contêineres para IPC. Em paralelo foi formado um primeiro grupo de tomadores de decisão com a participação de três profissionais do setor da construção com a intenção de manter nesta lista apenas os fatores realmente relevantes, conforme exige o método CBA (SUHR, 1999).

Após a identificação dos fatores relevantes pelo primeiro grupo de tomadores de decisão, foi montado um segundo grupo, formado por profissionais atuantes no canteiro de obras e no processo de aquisição dos contêineres, que podiam ponderar esses fatores e demonstrar suas preferências por cada alternativa de contêiner identificado.

### **7.2.3 Grupo de tomadores de decisão**

A lista com os dezoito critérios necessários para atendimento dos fatores foi apresentada para o grupo de três tomadores de decisão, denominado “especialistas”. O primeiro grupo de tomada de decisão foi para identificar os fatores relevantes, composto por três profissionais do setor: um fiscal de obra, um pesquisador doutor da área acadêmica e um diretor geral de obras. Após a definição dos fatores relevantes, encaminhou-se a próxima etapa de tomada de decisão pelo segundo grupo de tomadores de decisão para ponderação dos fatores relevantes. O segundo grupo foi denominado de “profissionais do canteiro” e correspondeu a três diretores de obras, responsáveis pela seleção de contêineres nas respectivas empresas.

Para acompanhamento das experiências dos profissionais, a pesquisadora visitou três canteiros de obras sendo recebida por três engenheiros responsáveis pelas suas determinadas obras em conjunto com os diretores de obras. Nessas oportunidades teve a oportunidade de explicar o protocolo e como seria a determinação dos pesos dos fatores identificados pelo primeiro grupo tomador de decisão.

#### 7.2.4 Identificação dos fatores e ponderação

A seleção dos fatores relevantes para os contêineres pode ser vista no Quadro 30, que exhibe as decisões definidas pelos dois grupos de tomada de decisão, os fatores relevantes de se analisar em contêiner (especialistas) e os pesos atribuídos a estes fatores (profissionais do canteiro).

**Quadro 31** – Listagem de fatores relevantes para a seleção de contêineres

Fatores pré-selecionados para análise dos especialistas	Fatores selecionados como relevantes pelos tomadores de decisão – especialistas	Peso dado aos fatores pelos “profissionais do canteiro”
1- PESO Critério: <i>Mais leve melhor</i>	OK, concordaram como fator relevante	40
2- ESTÉTICA Critério: <i>Mais bonito /agradável melhor</i>	OK, concordaram como fator relevante	45
3-GARANTIA Critério: <i>Mais tempo melhor</i>	OK, mas não com relação ao tempo de garantia, e sim se fornece garantia ou não	10
4-LOCAL DE FABRICAÇÃO OU LOCAÇÃO Critério: <i>Mais próximo da obra melhor</i>	OK, concordaram como fator relevante	50
5-POSSIBILIDADE DE RECICLAGEM Critério: <i>Todos os componentes serem recicláveis melhor</i>	Não é relevante para contêineres, porque ainda não existem opções produzidas da reciclagem, logo ninguém pensa nisso quando vai comprar/alugar.	-
6- DESEMPENHO ACÚSTICO Critério: <i>Maior melhor</i>	OK, concordaram como fator relevante	30
7- DESEMPENHO TÉRMICO Critério: <i>Maior melhor</i>	OK, concordaram como fator relevante	35
8- DURABILIDADE Critério: <i>Maior melhor</i>	NÃO possui relevância, porque a maioria dos contêineres são alugados	-
9- CONSIDERAÇÕES DIMENSIONAIS Critério: <i>Mais opções de tamanho/modulações melhor</i>	OK, concordaram como fator relevante	100



Fatores pré-selecionados para análise dos especialistas	Fatores selecionados como relevantes pelos tomadores de decisão – especialistas	Peso dado aos fatores pelos “profissionais do canteiro”
10- FACILIDADE DE TRANSPORTE Critério: <i>Mais fácil melhor</i>	OK, concordaram como fator relevante	10
11- FACILIDADE DE MONTAGEM/DESMONTAGEM Critério: <i>Mais fácil melhor</i>	OK, concordaram como fator relevante	10
12- POSSIBILIDADE DE EMPILHAMENTO Critério: <i>Quanto mais melhor</i>	OK, concordaram como fator relevante	60
13- INSTALAÇÕES ELÉTRICAS E HIDRÁULICAS EMBUTIDAS Critério: <i>Possuir melhor</i>	OK, concordaram como fator relevante	70
14- SISTEMA DE COBERTURA Critério: <i>Disponível melhor</i>	OK, concordaram como fator relevante	20
15- RESISTÊNCIA AO IMPACTO Critério: <i>Maior resistência melhor</i>	OK, concordaram como fator relevante	75
16- MANUTENÇÃO E CONSERVAÇÃO Critério: <i>manutenção fácil e econômica melhor</i>	NÃO, este fator está embutido no custo (Etapa 7 de CBA)	-
17- NECESSIDADE DE CLIMATIZAÇÃO Critério: <i>Menor melhor</i>	OK, concordaram como fator relevante	15
18- POSSIBILIDADE DE DIFERENTES MODULAÇÕES (por exemplo, escada externa, varanda...) Critério: <i>Mais versatilidade, melhor</i>	NÃO, porque é equivalente ao fator 9- Considerações Dimensionais	-
19- SEGURANÇA PATRIMONIAL (novo) Critério: <i>Mais seguro, melhor</i>	Julgaram ser importante inserir o Fator SEGURANÇA, com relação à segurança contra furtos	65

Fonte: Autora, 2018.

Assim, de uma lista de dezenove fatores a serem analisados, quinze foram determinados como relevantes fatores relevantes definidos pelos “especialistas” e os pesos dos fatores pelos “profissionais do canteiro” podem ser verificados nos Quadros 31 e 30, onde o fator com maior ponderação (0 a 100) foi o fator “consideração dimensional”.

**Quadro 32** – Quinze fatores relevantes para seleção do contêiner

<b>Social</b>	<b>Ambiental</b>	<b>Econômico</b>
Peso	Durabilidade	Garantia
Estética	Necessidade de climatização	Facilidade de transporte
Desempenho acústico	Local de fabricação ou locação	Facilidade de montagem/desmontagem
Desempenho térmico		Segurança patrimonial
Considerações dimensionais		
Resistência ao impacto		
Instalações elétricas e hidráulicas embutidas		
Sistema de cobertura		

**Fonte: Autora, 2018.**

O Quadro 32 exhibe os fatores divididos por tipos de aspectos ambientais, sociais ou econômicos. A maior dificuldade encontrada relatada pelos “profissionais do canteiro” é que, mesmo reconhecendo a importância dos vários fatores, a decisão sobre as seleções dos contêineres ficam sob responsabilidade apenas do diretor de obras, que decide individualmente sobre as opções existentes com base no orçamento, disponibilidade da empresa de aluguel e condições definidas pelo dono da obra.

Observou-se que os tipos de contêineres podem ser diferentes de acordo com cada utilidade em obra, por exemplo, o almoxarifado (ou ferramentaria, como é chamado em Portugal), não tem necessidade de isolamento térmico ou acústico, pois não abrigam pessoas trabalhando dentro deste local. Assim, o fator de maior importância para esta tipologia de IPC é que o contêiner seja robusto e seguro para evitar furtos.

Outra questão é sobre o contêiner ser alugado ou comprado (próprio), pois há alteração em relação aos fatores selecionados. Na maioria das situações observadas, os contêineres são alugados, pois segundo os diretores de obra, torna-se mais viável porque podem ter a modulação necessária ao espaço disponível no canteiro de obras. No caso de serem contêineres próprios normalmente são adquiridos os módulos dos almoxarifados que não precisam de muita manutenção. Mas quando são alugados, alguns fatores, como garantia, facilidade de transporte, facilidade de montagem e desmontagem não se tornam relevantes, pois a empresa de aluguel dos contêineres fica responsável por estas etapas.

### **7.2.5 Aplicação do protocolo de seleção em IPC tipo contêiner em Portugal**

Foram visitados três canteiros de obras em Portugal, dois de uma mesma empresa A (canteiro 1 e 3), e o terceiro de uma empresa B (canteiro 2).

Levando isto em consideração, e que foram visitadas duas empresas diferentes, foi feita uma média dos valores atribuídos com relação às duas empresas. Assim, os pesos atribuídos aos fatores no Quadro 30 é a média dos valores respondidos pelos três engenheiros e um encarregado de obra para caracterizar uma decisão multicritérios baseada em diferentes opiniões, conforme indicado a seguir:

- Empresa A = média entre respostas do engenheiro 1 e engenheiro 2 (obras diferentes);
- Empresa B = ponderação realizada pelo engenheiro da obra e encarregado de obra (mesma obra);
- Ponderação final dos fatores= média entre empresa A e empresa B.

### 7.2.5.1 Estudos de caso em três obras

Os três canteiros visitados das duas empresas diferentes possuíam contêineres que eram utilizados como escritórios de obra, banheiros internos, refeitórios, vestiários, almoxarifado e servindo de apoio para áreas improvisadas para serviços de corte e dobra de aço. As Figuras 53 a 58 seguintes ilustram os usos dos contêineres nos canteiros de obras visitados.

O canteiro 1, da empresa A, situado na cidade de Estarreja, tratava-se de uma construção pré-moldada industrial. As IPC dividiam-se em escritório da obra do tipo *flat pack* empilhados, e marítimos para armazenamento de materiais e produção de materiais.

**Figura 53** – Contêineres tipo Flat Pack e contraplacado marítimo (canteiro 1)



a) Contêineres tipo flat Pack empilhados utilizado para escritórios de obra



b) Contêiner tipo contraplacado marítimo utilizado como almoxarifado – certificado de segurança e inspeção

Fonte: Autora, 2018.

**Figura 54** – Contêiner contraplacado marítimo para IPC (canteiro 1)



a) Contêiner tipo marítimo utilizado como área de dobra e corte de aço



b) Contêiner tipo marítimo – parte interna do almoxarifado

**Fonte: Autora, 2018.**

O canteiro 2, da Empresa B, situado na cidade do Porto, era referente a uma obra de demolição/restauração e construção, com espaço muito restrito para movimentações e áreas para IPC. Assim, a maior parte das IPC eram para armazenar materiais em contêineres do tipo marítimo, e do tipo *flat pack* para escritório de obra.

**Figura 55** – Canteiro 2 com contêineres mistos contraplacado marítimo e *flat pack*



a) Contêineres à direita tipo *flat Pack*, azul à esquerda almoxarifado (marítimo)



b) Parte interna do contêiner usado para sala de reuniões na obra

**Fonte: Autora, 2018.**

O canteiro 3, empresa A, possuía um vasto canteiro de obras com área para fumódromo para os trabalhadores, áreas para armazenamento de materiais e com inúmeras unidades de IPC em *flat pack* em boas condições de uso.

Apesar dos contêineres termoacústicos com isolantes não terem sido observados nos canteiros de obra visitados, os mesmos foram considerados durante a elaboração e seleção das tipologias dos contêineres.

**Figura 56** – Contêiner tipo Flat Pack (canteiro 3)



a) Contêiner tipo *flat pack* utilizado como vestiário    b) Parte interna do contêiner vestiário

**Fonte: Autora, 2018.**

**Figura 57**– Tipos de banheiros em contêineres



a) Banheiro externo contêiner tipo *flat Pack* – canteiro 1

b) Banheiro interno no contêiner tipo *flat Pack* – canteiro 2

c) Banheiro químico externo – canteiro 3

**Fonte: Autora, 2018.**

**Figura 58**– Outras IPC - canteiro 3



a) Refeitório – contêiner tipo *flat Pack*

b) Área para os *big bags* de resíduos

c) Escritórios de obra em contêineres tipo *flat Pack*

**Fonte: Autora, 2018.**

Os contêineres tipo *Flat Pack* podem ser considerados melhores que os contraplacados marítimo com relação ao conforto térmico, acústico, estética, modulação, porém menos seguros e frágeis. Os *Flat Pack* contam com uso de ares condicionados para os escritórios de obras, pois os usuários alegam que no verão é muito quente e no inverno muito frio, o que indica que esse tipo de produto não é o mais adequado para uso como escritório de obra.

#### **7.2.5.2 Resultado do método CBA para contêineres**

Assim como no estudo das coberturas leves para IPC, o método CBA também foi aplicado nos contêineres utilizados como IPC, conforme o processo de elaboração descrito anteriormente.

Os resultados de aplicação do método CBA nos contêineres utilizados como IPC demonstraram a viabilidade de replicação do método em outro tipo de material/produto da construção civil, além do que já foi exposto anteriormente.

A necessidade de alteração de aplicação do método CBA para os contêineres se deu devido a realidade local. O estudo da viabilidade do uso do CBA deve ser realizada anteriormente a qualquer aplicação do protocolo nos canteiros, pois cada projeto exhibe uma necessidade e a tomada de decisão deve ser embasada em informações sólidas e reais dos locais de estudo.

Não foi realizada a aplicação de AHP para efeito de comparação, pois após a aplicação do método para a seleção de elementos para as coberturas leves, o resultado demonstrou-se satisfatório para aplicação do método CBA, separadamente.

Algumas dificuldades foram encontradas na aplicação deste protocolo, por ter-se um tempo curto para realização da pesquisa durante o período do doutorado sanduíche. Houve a necessidade de elaboração do protocolo e de aplicação do mesmo pela equipe do canteiro, que teve dificuldades de colaborar com a pesquisa adequadamente.

A seguir, o Quadro 32 exhibe o método CBA aplicado para a seleção do melhor tipo de contêiner utilizado como IPC, tendo em comparação três alternativas e analisando-se quinze fatores.

**Quadro 33** – Protocolo de seleção de contêineres de menor impacto para uso como instalações provisórias de canteiro

FATORES	PESO PROFISSIONAIS	ALTERNATIVAS					
		1) CONTÊNER DESMONTÁVEL COM ESTRUTURA METÁLICA E FECHAMENTO EM POLIETILENO (sistema <i>Flat Pack</i> )	2) CONTÊNER METÁLICO (CONTRAPLACADO MARÍTIMO)	3) CONTÊNER METÁLICO OU POLIETILENO COM PROTEÇÃO TERMOACÚSTICA (EPS, PU etc.)			
Visualização das alternativas							
1- PESO Critério: <i>Mais leve, melhor</i>	40	Atributos: Muito mais leve Vantagem: Mais leve	40	Atributos: <u>Muito pesado</u> Vantagem:	0	Atributos: Peso intermediário Vantagem:	0
2- ESTÉTICA Critério: <i>Mais bonito /agradável / melhor</i>	45	Atributos: Muito bonito Vantagem:	45	Atributos: <u>Bonito</u> Vantagem:	0	Atributos: Muito bonito Vantagem:	45
3-GARANTIA Critério: <i>Fornecer melhor</i>	10	Atributos: Normalmente produto novo, com garantia Vantagem:	10	Atributos: Normalmente produto usado, sem garantia Vantagem:	0	Atributos: Normalmente produto novo, com garantia Vantagem:	10
4-LOCAL DE FABRICAÇÃO OU LOCAÇÃO Critério: <i>Mais próximo da obra melhor</i>	50	Atributos: Disponibilidade próximo às obras Vantagem:	50	Atributos: Disponibilidade próximo às obras Vantagem:	50	Atributos: Não há tanta disponibilidade Vantagem:	0

FATORES	PESO PROFISSIONAIS	ALTERNATIVAS		
		1) CONTÊNER DESMONTÁVEL COM ESTRUTURA METÁLICA E FECHAMENTO EM POLIETILENO (sistema <i>Flat Pack</i> )	2) CONTÊNER METÁLICO (CONTRAPLACADO MARÍTIMO)	3) CONTÊNER METÁLICO OU POLIETILENO COM PROTEÇÃO TERMOACÚSTICA (EPS, PU etc.)
5- DESEMPENHO ACÚSTICO Critério: <i>Maior melhor</i>	30	<i>Atributos:</i> Material com boa acústica Vantagem: 15	<i>Atributos:</i> <u>Material com acústica ruim</u> Vantagem: 0	<i>Atributos:</i> Fabricados com materiais específicos para acústica e térmica Vantagem: Melhor desempenho 30
6- DESEMPENHO TÉRMICO Critério: <i>Maior melhor</i>	35	<i>Atributos:</i> Material com boa térmica Vantagem: 15	<i>Atributos:</i> <u>Material com térmica ruim</u> Vantagem: 0	<i>Atributos:</i> Fabricados com materiais específicos para acústica e térmica Vantagem: Melhor desempenho 35
7- SEGURANÇA Critério: <i>Mais seguro melhor</i>	65	<i>Atributos:</i> <u>Menos seguro</u> Vantagem: 10	<i>Atributos:</i> Robusto, seguro Vantagem: Mais seguro 65	<i>Atributos:</i> Seguro Vantagem: 20
8- CONSIDERAÇÕES DIMENSIONAIS Critério: <i>Mais opções de tamanho, modulações melhor</i>	100	<i>Atributos:</i> Diversas opções de modulações Vantagem: 100	<i>Atributos:</i> 4 opções de modulações Vantagem: 20	<i>Atributos:</i> Diversas opções de modulações Vantagem: 100
9- FACILIDADE DE TRANSPORTE Critério: <i>Mais fácil melhor</i>	10	<i>Atributos:</i> Desmonta, mais leve Vantagem: Mais fácil 10	<i>Atributos:</i> Não desmonta, mais difícil Vantagem: 0	<i>Atributos:</i> Desmonta, menos leve Vantagem: 5
10- FACILIDADE DE MONTAGEM/DESMONTAGEM Critério: <i>Mais fácil melhor</i>	10	<i>Atributos:</i> Fácil montagem/desmontagem Vantagem: 10	<i>Atributos:</i> Não desmonta Vantagem: 0	<i>Atributos:</i> Fácil montagem/desmontagem Vantagem: 10



FATORES	PESO PROFISSIONAIS	ALTERNATIVAS					
		1) CONTÊINER DESMONTÁVEL COM ESTRUTURA METÁLICA E FECHAMENTO EM POLIETILENO (sistema <i>Flat Pack</i> )	2) CONTÊINER METÁLICO (CONTRAPLACADO MARÍTIMO)	3) CONTÊINER METÁLICO OU POLIETILENO COM PROTEÇÃO TERMOACÚSTICA (EPS, PU etc.)			
11- POSSIBILIDADE DE EMPILHAMENTO Critério: <i>Quanto mais melhor</i>	60	<i>Atributos:</i> Sim, até 12 andares  <i>Vantagem:</i>	30	<i>Atributos:</i> Sim, até 8 andares  <i>Vantagem:</i>	10	<i>Atributos:</i> Sim, até 12 andares  <i>Vantagem:</i>	30
12- INSTALAÇÕES ELETRICAS E HIDRÁULICAS EMBUTIDAS Critério: <i>Possuir melhor</i>	70	<i>Atributos:</i> Sim <i>Vantagem:</i>	70	<i>Atributos:</i> Não, mas pode ser feita <i>Vantagem:</i>	0	<i>Atributos:</i> Sim <i>Vantagem:</i>	70
13- SISTEMA DE COBERTURA Critério: <i>Disponível melhor</i>	20	<i>Atributos:</i> Dispõe, com forro <i>Vantagem:</i>	20	<i>Atributos:</i> <u>Dispõe, sem forro</u> <i>Vantagem:</i>	0	<i>Atributos:</i> Dispõe, com forro <i>Vantagem:</i>	20
14- RESISTÊNCIA AO IMPACTO Critério: <i>maior resistência melhor</i>	75	<i>Atributos:</i> Resistência ao impacto intermediária <i>Vantagem:</i>	0	<i>Atributos:</i> Alta resistência ao impacto <i>Vantagem:</i> Melhor	75	<i>Atributos:</i> Resistência ao impacto intermediária <i>Vantagem:</i>	0
15- NECESSIDADE DE CLIMATIZAÇÃO Critério: <i>Menor melhor</i>	15	<i>Atributos:</i> Sim, principalmente no verão <i>Vantagem:</i>	0	<i>Atributos:</i> Sim, verão e inverno <i>Vantagem:</i>	0	<i>Atributos:</i> Não <i>Vantagem:</i> Não necessita de climatização	15
Total IofA			425		220		390

Fonte: Autora, 2018.

Aplicando CBA para seleção dos contêineres, nota-se no Quadro 33 os valores de IofA bem próximos. A etapa 7 de comparação dos custos, não foi possível de ser aplicada, pois não foi obtida a informação dos valores de aluguel ou compra dos contêineres.

Sendo assim, a melhor alternativa obtida para uso como IPC, baseado nos fatores adotados, foi o contêiner do tipo *Flat Pack*, que de fato é o mais utilizado. Importante salientar que os contêineres contraplacados metálicos são os mais indicados em relação aos fatores “segurança” e “resistência ao impacto” e isso o caracteriza como melhor opção para guardar ferramentas e materiais. Neste caso, a lista de fatores deveria ser reduzida aos itens considerados necessários para seleção.

Os contêineres utilizados como IPC se apresentaram como uma ótima opção, pois o seu emprego traz diversos benefícios com relação ao conforto do usuário e praticidade de montagem, desmontagem, transporte e reaproveitamento.

### **7.3 Proposta geral de protocolo de seleção de material**

Com base nos resultados de aplicação de protocolo para telha e contêineres apresentados anteriormente, foi possível chegar a um modelo geral de aplicação do protocolo de seleção para qualquer tipo de produto ou sistema, desde que seja levado em consideração as características de tomada de decisão apresentadas. Essa proposta geral pode ser vista no Quadro 33 seguinte.

**Quadro 34** – Proposição simplificada do protocolo geral de seleção de material para IPC

Seleção de produto de menor impacto para IPC		ALTERNATIVAS					
FATORES	PESOS ATRIBUÍDOS AOS FATORES	ALTERNATIVA A		ALTERNATIVA B		ALTERNATIVA C	
1- X  Critério: Atender X	Os pesos são atribuídos a cada fator de acordo com as preferências da equipe de tomada de decisão. Exemplo: Fator X tem peso=35	Atributos:	0	Atributos:	0	Atributos:	0
		Vantagem:		Vantagem		Vantagem:	
2- Y  Critério: Atender Y	Fator Y tem peso= 15	Atributos:	0	Atributos:	0	Atributos:	0
		Vantagem:		Vantagem		Vantagem:	
3- Z  Critérios: Atender Z	Fator Z tem peso= 50	Atributos:	0	Atributos:	0	Atributos:	0
		Vantagem:		Vantagem		Vantagem:	
TOTAL DE VANTAGENS (IofA) = Somatório das vantagens dos fatores		Cada atributo é pontuado de acordo com os pesos atribuídos aos fatores	$\Sigma$				$\Sigma$

Fonte: Autora, 2018.

No exemplo de preenchimento do Quadro 34, foram representadas três alternativas A, B e C, onde tem-se três fatores para serem analisados X, Y e Z. Cada um desses fatores tem um peso maior ou menor de acordo com a preferência dos tomadores de decisão, que influenciará significativamente nas próximas etapas. O valor dos pesos atribuídos é variável e dependente da opinião dos tomadores de decisão. No Quadro 34, o fator Z que tem peso maior é o Z=50, assim o que os tomadores de decisão fazem a análise de qual das alternativas A, B ou C tem mais vantagem neste fator, e indicam a que merece pontuar seu atributo com 50 e obter direito a essa pontuação no somatório final.

Conforme pesquisa realizada, os principais fatores a serem observados na análise dos materiais para redução dos impactos de sustentabilidade são:

- Ambiental: Emissão de CO<sub>2eq</sub>; Controle de matéria-prima; Quantidade de reciclados presente no material; Possibilidade de reciclagem do material; Facilidade do material.
- Social: Peso; Estética; Barreira antimicrobiana; Desempenho térmico; Considerações dimensionais;
- Econômico: Garantia; Durabilidade/Vida útil; Custo de aquisição; Custo de instalação; Custo de manutenção; Custo de utilização.

Então, após análise das alternativas existentes, verifica-se o tipo de decisão a ser tomada, local de construção, clima e objetivos, depois os tomadores de decisão decidem pelos fatores relevantes das alternativas e seguem-se as etapas de tomada de decisão multicritério proposta nesta pesquisa, ou seja, as sete etapas de CBA, e obrigatoriamente a decisão multicritério considerará a visão sistêmica de todo o processo.

Assim, dependendo da situação, como no caso das coberturas leves que indicou a necessidade de fazer medições de desempenho térmico, então entende-se que cada caso ou produto a ser selecionado têm suas particularidades e as decisões precisam ser tomadas com base numa visão sistêmica.

Pode-se resumir um roteiro simplificado para aplicação do Protocolo de Seleção de Produtos – materiais e componentes de menor impacto em:

- Conhecer o projeto, o local, condições climáticas;
- Fazer pesquisa de mercado sobre preços, composição do material e disponibilidade do mesmo;
- Considerar as alternativas existentes no mercado;
- Organizar uma lista inicial com os fatores considerados relevantes pelos usuários, especialistas e publicações técnicas e científicas;
- Reunir a equipe de tomada de decisão para opinar sobre a lista de fatores e respectivos pesos;
- Seguir as sete etapas do método CBA proposto;
- Selecionar a melhor opção.

Mais especificamente sobre as etapas do método CBA, pode-se afirmar que: as alternativas são as variedades do material/sistema a ser comparadas (Etapa 1), os fatores são definidos a partir de um entendimento das necessidades ambientais, sociais e econômicas de determinado produto (Etapa 2), posteriormente definem-se os critérios necessários para atender os fatores (Etapa 3), em seguida, deve ser analisado se os atributos necessários em cada alternativa estão presentes (Etapa 4), comparam-se os atributos em cada alternativa de forma a decidir a melhor vantagem através dos atributos (Etapa 5). Em seguida, a equipe de tomada de decisão definirá uma escala de notas para obter o somatório de pontos que corresponderá à importância das vantagens (Etapa 6). Com os dados apropriados dos custos envolvidos, pode-se finalmente inserir os dados de custo (Etapa 7), para que a equipe de tomada de decisão faça a comparação das vantagens para cada alternativa relacionando com os dados de custo. O resultado final desta análise será a indicação de qual alternativa (material, componente ou produto), com base nos critérios definidos, deverá ser a selecionada como a melhor opção a ser empregada.

O processo proposto colabora para que o processo de tomada de decisão seja embasado em fundamentos técnicos e considere princípios de sustentabilidade.

## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como explicitado neste trabalho, verificou-se a existência de lacunas a serem preenchidas para a seleção de materiais sustentáveis por meio de um método de tomada de decisão. A decisão deve ser subsidiada por um processo abrangente que considere vários fatores pré-determinados, buscando demonstrar a viabilidade no emprego de materiais sustentáveis no canteiro de obras.

As preocupações em seleção de alternativas de produtos para uso nas IPC são ainda inexistentes em muitos casos, e isso ocorre devido a falta de análise técnica na maioria dos casos. Também existem bons exemplos, ainda que poucos, de empresas que consideram o planejamento desta etapa da construção como importante.

Destacou-se que os resultados obtidos foram buscados de acordo com a necessidade do projeto e do uso do material ou componente, ou seja, cada caso a ser analisado é específico. A aplicação de um método multicritério sob os aspectos sustentáveis para selecionar melhor tipo de cobertura leve para instalações provisórias do canteiro de obras se mostrou viável e posteriormente, o protocolo pôde ser utilizado para selecionar a melhor opção de contêiner a ser utilizado como IPC com as peculiaridades do material/sistema analisado.

Houve a percepção após os resultados obtidos que nem sempre o material ou produto designado pelo mercado como mais sustentável, de fato seja o mais sustentável quando comparado a outros que não recebam este *marketing*, como no caso da telha com materiais reciclados. Foi verificado também que na comparação dos materiais dados como sustentáveis/verdes com os tradicionais, não houve diferença significativa de valores de aquisição.

Percebeu-se também durante a pesquisa uma certa resistência no setor da construção para a tomada de decisões em conjunto, pelo dinamismo que o setor enfrenta, com tempos escassos e preocupações em atender custo e prazo.

A realização de parte da pesquisa em outro país, Portugal, trouxe uma visão diferente, pois mesmo o Brasil sendo um país em desenvolvimento, notou-se com as visitas aos canteiros, que os entrevistados no Brasil estão bem conscientes da necessidade de estabelecer melhores processos de tomada de decisão, que considerem a sustentabilidade e a contribuição da academia.

Os resultados também indicam que existem várias informações disponíveis sobre os produtos e materiais a serem selecionados, entretanto, em determinados momentos, faz-se necessário a realização de ensaios experimentais para a obtenção de dados considerados relevantes. Observou-se que a concepção dos produtos, a disposição de tecnologia, a modificação dos sistemas construtivos, entre outros aspectos, devem considerar adequadamente o clima e o local de utilização.

Concluiu-se que o método CBA utilizado juntamente com as adequações desta pesquisa, atingiram o objetivo principal deste trabalho que foi propor um protocolo de seleção de alternativas de produtos para as instalações provisórias de canteiro de obra de forma a contribuir para reduzir a informalidade e a subjetividades nas decisões do setor da construção civil. Além disso, esperasse que o protocolo contribua indiretamente para a empresa entender e melhorar seus processos construtivos e fazer uma análise criteriosa da sustentabilidade desde a etapa de início dos processos de tomada de decisão.

Do ponto de vista teórico foi também foi importante compreender a designação correta dos termos relacionados: reciclados (já passado pelo processo de reciclagem), com conteúdo reciclado (produzido) e recicláveis (que há possibilidade de passar pelo processo de reciclagem).

Os resultados encontrados para o desempenho térmico das telhas foi coerente com o protocolo de seleção baseado no método CBA para as telhas e se mostrou relevante na determinação da melhor alternativa. O protocolo poderá ser aplicado com outros tipos de telhas para uma melhor padronização, menor subjetividade possível e atendimento às necessidades das instalações dos canteiros de obras brasileiros.

Após análise da aplicação dos métodos multicritérios CBA e AHP para as coberturas leves em IPC no Brasil, verificou-se que o método CBA é o método multicritério mais adequado para este estudo, pois leva em consideração os aspectos da sustentabilidade econômica, social e ambiental em conjunto. Portanto, não houve necessidade de aplicação do método AHP para os contêineres em Portugal, visto que o CBA atendia o objetivo da pesquisa em questão, sendo muito mais rápido e prático de ser utilizado nos canteiros de obras.

Assim, como se buscou a possibilidade da aplicação do método CBA para os contêineres em Portugal, o estudo concluiu que diferentes tipologias de produtos poderão ser comparadas, considerando as suas particularidades, de forma a subsidiar o processo de tomada de decisão.

Porém, para que o protocolo funcione adequadamente deverão ser seguidos os princípios de construção conjunta dos fatores e respectivos pesos, colaborando para que o processo seja mais eficaz no setor da construção. Com isso, o método CBA terá atingido a sua premissa básica que é de ser um método de fácil aplicação e que proporciona o engajamento e colaboração de todas as partes envolvidas.

A estratégia de composição do método AHP para auxiliar o CBA deu-se no sentido de utilizar os percentuais das PML encontradas para cada subcritério e compor o método Tabular CBA para efeito de comparação de resultados. Porém, após realização dos dois estudos em separado e da análise conjunta, foi averiguado que os métodos proporcionaram resultados diferentes para o estudo em questão das “telhas”. Além disso, a aplicação dos métodos levaram a fatores, análises e ponderações distintas, o que não se mostrou conclusivo para um estudo apenas. Assim, julga-se importante que mais pesquisas continuem a estudar a inserção das técnicas do AHP para dar suporte ao CBA.

Observou-se que a hipótese inicial desta pesquisa foi confirmada positivamente: que o método CBA para a seleção de coberturas leves e contêineres demonstrou-se adequado e de menor impacto comparado a esta atividade sem utilização de métodos de tomada de decisão. O protocolo concebido mostrou também viável para a aplicação deste método para outros tipos de produtos. Foi confirmado que o processo de tomada de decisão na construção civil pode contar com estratégias e métodos adequados que considerem a experiência e percepção das principais partes envolvidas.

Apesar de o método ser voltado para seleção de coberturas leves, demonstrou-se posteriormente que o método poderá ser utilizado para qualquer outro tipo de componente, como no caso dos contêineres, e em outro local de uso, como o estudo desenvolvido em Portugal, desde que sejam definidas as necessidades do projeto.

Espera-se que haja continuidade desta pesquisa com relação às novas aplicações de CBA no Brasil para diferentes tipos de materiais, principalmente no cenário das Instalações Provisórias dos Canteiros, para que estas se tornem mais salubre e melhorem as condições de uso e permanência para os trabalhadores da construção civil.



# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAHAM, K.; LEPECH, M.; HAYMAKER, J. Selection and application of Choosing by Advantages on a corporate campus project. In: 21<sup>th</sup> Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC), 21., 2013. **Proceedings...** Fortaleza, Brazil: 2013. p.349-358. Disponível em: <http://iglc.net/Papers/Details/861>

ADDIS, B. **Reúso de materiais e elementos de construção**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 368p.

AEC web. Os verdadeiros impactos da construção civil. **Revista Digital AEC**.2018. Disponível em: [https://www.aecweb.com.br/cont/n/os-verdadeiros-impactos-da-construcao-civil\\_2206](https://www.aecweb.com.br/cont/n/os-verdadeiros-impactos-da-construcao-civil_2206).

AKADIRI, P.O.; OLOMOLAIYE, P.O.; CHINYIO, E. Multi-criteria evaluation model for the selection of sustainable materials for building projects. **Automation in Construction**, v.30, p.113–125, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.10.004>.

ALMEIDA, F.C.R.; SALES, A.; MORETTI, J.P.; MENDES, P.C.D. Sugarcane bagasse ash sand (SBAS): Brazilian agroindustrial by-product for use in mortar. **Construction and Building Materials**, v.82, n.1, p.31-38, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.02.039>

AMARAL, P.Q.G.; GUÍO, L.M.P.; SICHIERI, E.P. Impactos na qualidade de vida devidos aos fatores de contaminação em ambientes internos de convívio humano. In: Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis (CLB-MCS), 2014. **Anais...**Guimarães: Universidade do Minho, 2014.

AMBIENTE BRASIL. **Reciclagem de Aço**. 2015. Disponível em: [https://ambientes.ambientebrasil.com.br/residuos/reciclagem/reciclagem\\_de\\_aco.html](https://ambientes.ambientebrasil.com.br/residuos/reciclagem/reciclagem_de_aco.html)

AMORIM, C.B. **Utilização de telhas plásticas de MPVC na construção civil**. 50f. 2014. Monografia (Curso de Especialização em Construção Civil) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. Disponível em: [https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUBD-A9MJEE/1/monografia\\_telhas\\_de\\_mpvc\\_revisada\\_18\\_03\\_14.pdf](https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUBD-A9MJEE/1/monografia_telhas_de_mpvc_revisada_18_03_14.pdf)

ÂNGULO, S.C.; ZORDAN, S.E.; JOHN, V.M. Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil. In: Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil, 2010. **Anais...** São Paulo: IBRACON, 2001.

ANTONIAZZI, A.R.; DIAS, G.A.G.; ZEULE, L.O.; SERRA, S.M.B. Certificação ambiental na construção: boas práticas no canteiro de obra e metodologia de avaliação. In: V Encuentro Latino Americano de Gestión Y Economía de la Construcción (ELAGEC), 5.,2013. **Proceedings....** Cancun, México, 2013. 12p.

ARAÚJO, D.C.; MORAIS, C.R.S.; ALTIDES, M.E.D. A avaliação mecânica e físicoquímica entre telhas convencionais e alternativas usadas em habitações populares. **Revista Eletrônica**

**de Materiais e Processos**, v.3, n.2, p.50-56, 2008. Disponível em:  
<http://www2.ufcg.edu.br/revista-remap/index.php/REMAP/article/download/70/97>

ARAÚJO, G.C.; BUENO, M.,P.; SOUSA, A.A.; MENDONÇA, P.S.M. Sustentabilidade Empresarial: conceitos e indicadores. In: III Congresso Virtual Brasileiro de Administração (CONVIBRA), 3., 2006. **Anais...** 2006. Disponível em:  
<[http://www.convibra.com.br/2006/artigos/61\\_pdf.pdf](http://www.convibra.com.br/2006/artigos/61_pdf.pdf)>.

ARROYO, P. **Exploring decision-making methods for sustainable design in commercial buildings**. 204. 222f. Thesis (Doctor Philosophy in Engineering Civil and Environmental Engineering) - University of California, Berkeley, 2014.

ARROYO, P.; MOLINOS-SENATE, M. Selecting appropriate wastewater treatment technologies using a choosing-by-advantages approach. **Science of the Total Environment**, v. 625, i.1, p.819–827, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.331>

ARROYO, P.; TOMMELEIN, I.D.; BALLARD, G. .Using ‘Choosing by Advantages’ to select ceiling tile from a global sustainable perspective. In: 21<sup>th</sup> Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC), 21., 2013. **Proceedings...** Fortaleza, Brazil: 2013. p.309-318. Disponível em: <http://iglc.net/Papers/Details/868>

ARROYO, P.; TOMMELEIN, I.D.; BALLARD, G. Selecting globally sustainable materials: a case study using Choosing by Advantages. **Journal of Construction Engineering and Management**, v.142, i.2, 2016. Disponível em: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001041](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001041)

ARROYO, P; TOMMELEIN, I D; BALLARD, G. Comparing AHP and CBA as decision methods to resolve the choosing problem in detailed design. **Journal of Construction Engineering and Management**, v.141, i.1, 2015. Disponível em:  
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000915](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000915).

ARSLAN, H; COSGUN, N. Reuse and recycle potentials of the temporary houses after occupancy: Example of Duzce, Turkey. **Building and Environment**, v.43, n.5, p.702-709, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2007.01.051>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO METÁLICA (ABCEM). **Manual técnico telhas de aço**. São Paulo: ABCEM, 2009. 36p. Disponível em:  
<https://www.abcem.org.br/upfiles/arquivos/publicacoes/manual-de-telhas.pdf>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5.706:** Coordenação modular da construção. Rio de Janeiro, 1977. 4p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15.115:** Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos. Rio de Janeiro, 2004a. 10p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15.116:** Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro, 2004b. 12p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15.575:** Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2013a. 71p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15.575-5:** Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas. Rio de Janeiro: ABNT, 2013b. 73p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15.220-2:** Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2005. 34 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7.581.** Telha ondulada de fibrocimento. Parte 1 – Classificação e requisitos. Rio de Janeiro, 2014. 17p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10.005:** Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004c. 16p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 12.284:** Áreas de vivência em canteiros de obras. Rio de Janeiro: ABNT, 1991. 14p.

ATKINSON, R. Project management: cost, time and quality, two best guesses and a phenomenon, its time to accept other success criteria. **International Journal of Project Management**, v.17, i.6, p.337-342, 1999. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(98\)00069-6](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(98)00069-6)

BELL, S.; MORSE, S. **Sustainability Indicators Measuring the Immeasurable?** 2<sup>th</sup> ed. London: EarthscanPublications, 2008. 288p.

BERALDO, A. L.; SHIROMA, L.; FERREIRA, G. C. S. Compósito de cimento Portland com adição de resíduos de isoladores de porcelana e de Pinus. In: Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis, 2014. **Anais...** Guimarães, Portugal: Universidade do Minho, 2014.

BIRBOJM, A.; SOUZA, U.E.L. **Construções temporárias para canteiro de obras.** 2002. 23p. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP – Departamento de Engenharia de Construção Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo

BOFF, S. Veja os cuidados de instalação de alojamentos de madeira pré-fabricados para canteiros. **Téchne**, ed. 206, maio 2014.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Setor da construção civil aposta em crescimento e geração de empregos no MCMV.** 2018. Disponível em: <http://www2.planalto.gov.br/acompanhe-planalto/noticias/2017/02/setor-da-construcao-civil-aposta-em-crescimento-e-geracao-de-empregos-com-mudancas-no-mcmv>

BRASIL. Ministério das Cidades. **Telhas plásticas para telhado.** Diretrizes para avaliação técnica de produtos. Diretriz SINAT nº 007 (revisão 01). Brasília, 2014.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Construção Sustentável.** 2016. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/urbanismo-sustentavel/construcao-sustentavel>

BRASIL. Ministério do Trabalho. **Norma Regulamentadora 18 (NR-18):** Condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção. Brasília-DF. 2015. Disponível em: <http://trabalho.gov.br/seguranca-e-saude-no-trabalho/normatizacao/normas-regulamentadoras/norma-regulamentadora-n-18-condicoes-e-meio-ambiente-de-trabalho-na-industria-da-construcao>

BRASIL. Ministério do Trabalho. **Norma Regulamentadora 24 (NR-24):** Condições sanitárias e de conforto nos locais de trabalho. 1993. Brasília-DF. Disponível em: <http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR24.pdf>

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL (CEF). **Selo Casa Azul:** boas práticas para habitação mais sustentável. Coordenadores: John, V.M.; Prado, R.T.A. São Paulo: Páginas & Letras, 2010. Disponível em: [http://www.cbcs.org.br/userfiles/download/Guia\\_Selo\\_Casa\\_Azul\\_CAIXA.pdf](http://www.cbcs.org.br/userfiles/download/Guia_Selo_Casa_Azul_CAIXA.pdf)

CALKINS, M. **Materials for sustainable sites:** a complete guide to the evaluation, selection, and use of sustainable construction materials. New Jersey, USA: John Wiley & Sons, 2009. 480p.

CÂMARA Brasileira da Indústria da Construção (CBIC). **A construção civil sustentável:** um sonho possível. 2012. Disponível em: <https://cbic.org.br/a-construcao-civil-sustentavel-um-sonho-possivel/>

CÂMARA Brasileira da Indústria da Construção (CBIC). **Desempenho de edificações habitacionais:** guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15.575/2013. Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013. 300p.

CANTEIRO. **Padrões canteiro:** madeira tratada de acordo com a NBR 16.143. Disponível em: <http://www.canteiro.com.br/padros.html>

CARDOSO, F.F.; RODRIGO, A.G.; SOARES, P.V.P.T. **Desempenho de contêineres metálicos para instalações provisórias em canteiros de obras.** In: SERRA, S.M.B. *et al.* (Org.), Tecnologia para canteiro de obras sustentável. São Carlos: FINEP/Scienza, 2017. 412p. p.273-296. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.26626/978-85-5953-027-8.2017C0014.p.273-296>

CERTO, S.C. **Administração Moderna.** 9. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2005.

CITADIN, D. **Impactos ambientais causados pela construção civil.** 2017. Disponível em: <https://www.sience.com.br/blog/impactos-ambientais-causados-pela-construcao-civil/>

COHON, J.L. **Multiobjective programming and planning.** Nova Iorque: Academic Press, 1978.

CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL (CBCS). **Ferramenta dos 6 passos:** critérios para responsabilidade social e ambiental na seleção de fornecedores. 2011. Disponível em: <http://www.cbcs.org.br/selecaoDeFornecedores/>

CORCUERA, D. **Arquitetura Sustentável:** qualidade do ar interno e saúde dos ocupantes. 2010. Disponível em: [http://www.casaconsciente.com.br/pdf/qualidade\\_do\\_ar\\_interno.pdf](http://www.casaconsciente.com.br/pdf/qualidade_do_ar_interno.pdf)

CORREA, M. G.; ARROYO, P.; MOURGUES, C.; FOREST, F. Comparing choosing by advantages and weighting, rating and calculating results in large design space. pp.259-266, In: 25<sup>th</sup> International Group for Lean Construction (IGLC), 25., 2017. **Proceedings...** Heraklion, Greece: 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.24928/2017/0248>.

COSTA, D.; PRADO, R.T.A. Avaliação de desempenho, conforto térmico e IBUTG em contêineres metálicos para canteiros de obras. In: XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC), 15., 2014. **Anais...** Maceió, Alagoas: 2014. <http://doi.org/10.17012/entac2014.30>

COSTA, D.; PRADO, R.T.A. **Contêineres metálicos para instalações provisórias em canteiros de obras no Brasil.** In: SERRA, S.M.B. *et al.* (Org.), Tecnologia para canteiro de obras sustentável. São Carlos: FINEP/Scienza, 2017. 412p. p.297-314. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.26626/978-85-5953-027-8.2017C0015.p.297-314>

COVELO SILVA, M. A. **Caminhos para aplicação da norma de desempenho na cadeia produtiva da construção.** 2013. Disponível em: [https://commondatastorage.googleapis.com/eventoscte/uploads/talk/slides/17/Maria\\_Angelica\\_Covelo\\_Silva.pdf](https://commondatastorage.googleapis.com/eventoscte/uploads/talk/slides/17/Maria_Angelica_Covelo_Silva.pdf).

CRUZ JUNIOR, A.T.; CARVALHO, M.M. Obtenção da voz do consumidor: estudo de caso em um hotel ecológico. **Produção**, v.13, n.3, p.88-100, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-65132003000300008>.

CUNHA, E.C. **Placas recicladas de embalagens Longa Vida: Caracterização, design e propostas projetuais.** 2011. 120f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (USP), 2011.

DEGANI, C. M. **Modelo de gerenciamento da sustentabilidade de facilidades construídas.** 2010, 210f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2010.

DIAS, C.M. **Etapas do ciclo de vida de construções provisórias para canteiros de obras.** 2013. 120f. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2013.

DIAS, C.M.; SERRA, S.M.B. **Instalações Provisórias Pré-Fabricadas Para Canteiros De Obras.** In: SERRA, S.M.B. *et al.* (Org.), Tecnologia para canteiro de obras sustentável. São Carlos: FINEP/Scienza, 2017. 412p. p.213-234. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.26626/978-85-5953-027-8.2017C0011.p.213-234>

DIAS, C.M.; SERRA, S.M.B. Overview of Industrialized Technological Solutions for Temporary Facilities in Construction Sites. In: Congress Portugal SustainableBuilding (SB13). **Proceedings...** Guimarães, Portugal: Universidade do Minho, 2013. 8p.

DORNELLES, K.A; RORIZ, M. Inércia térmica, conforto e consumo de energia em edificações na cidade de São Carlos, SP. In: Encontro Nacional de Conforto do Ambiente Construído (ENCAC), 2003. **Anais...** Curitiba, 2003, p.369-376.

DORSTHORST, B.J.H.; HENDRIKS, C.F. Reuse of construction and demolition waste in the EU. In: CIB Symposium In Construction And Environment: Theory in to Practice, 2000. **Anais...** São Paulo, Brasil, 2000.

ECO D. **Reciclagem do metal.** 2010. Disponível em: <http://www.ecodesenvolvimento.org/noticias/ecod-basico-reciclagem-do-metal>

ENSSLIN, L.; GIFFHORN, E.; ENSSLIN, S.R.; PETRI, S.M.; VIANNA, W.B. Avaliação do desempenho de empresas terceirizadas com o uso da metodologia multicritério de apoio à decisão - construtivista. **Pesquisa Operacional**, v.30, p.125-152, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0101-74382010000100007>

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **Radon Frequently Asked Questions.** Disponível em: <https://www.epa.gov/radon/radon-frequently-asked-questions>

EUROPEAN ORGANISATION FOR TECHNICAL APPROVALS. European Technical Approval Guidelines (ETAG) 023: **Guideline for European Technical Approval of Prefabricated Building Units**.2006. 73p. Disponível em: <https://www.itb.pl/g/f/NDkw>

FERRANTE, M. **Seleção de Materiais**.São Carlos: EdUFSCar, 2013. 346p.

Fundação Carlos Alberto Vanzolini (FCAV). **Referencial técnico de certificação: Edifícios Habitacionais** versão 1. São Paulo: FCAV, 2013. 212p. Disponível: [https://www.vanzolini.org.br/download/RT\\_Edificios\\_habitacionais\\_v2\\_2013.pdf](https://www.vanzolini.org.br/download/RT_Edificios_habitacionais_v2_2013.pdf)

GASS, S. **The Analytic Hierarchy Process: decision making, models and algorithms**. New York: WileyInterscience, 1985.

GEHLEN, J. **Construção da sustentabilidade em canteiros de obras: um estudo no DF**. 2008. 158 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

GIL, A.C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GIOCONDO, A.C.C. **Desenvolvimento de blocos confeccionados com escória proveniente da reciclagem do aço**. 2008, 189f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2008.

GODFAURD, J.; CLEMENTS-CROOME, D.; JERONIMIDIS,G. Sustainable building solutions: a review of lessons from the natural world. **Building and Environment**, 40 (3), p.319–328, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.05.011>

GOMES, C.F.S.; GOMES, L.F.A.M. A Função de Decisão Multicritério: parte II: classificação dos métodos empregados na modelagem multicritério. **Revista do Mestrado em Administração e Desenvolvimento Empresarial**,ano 2, n.3, 2003. Disponível em: <http://www.estacio.br/revistamade/03/artigo8.asp>.

GONÇALVES, H.; GRAÇA, J.M. **Conceitos bioclimáticos para os edifícios em Portugal**. Lisboa: DGGE/IP-3E, 2004. 48p. Disponível em: <https://www.lneg.pt/download/4117/Conceitos%20Bioclim%C3%A1ticos.pdf>

GUARNIERI, P. Síntese dos principais critérios, métodos e subproblemas da seleção de fornecedores multicritério. **Revista de Administração Contemporânea**, v.19, n.1, p.1-25, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1982-7849rac20151109>

HAMMOND, J.S.; KEENEY, R.L.; RAIFFA, H. **Smart Choices: a practical guide to making better decisions**. Danver, USA: Crown Business, 2002. 256p.

HAYMAKER, J.; CHAU, D. H.; XIE, B. Inference-assisted choosing by advantages. In: 21<sup>th</sup> Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC), 21., 2013. **Proceedings...** Fortaleza, Brazil, 2013. pp 339-348. Disponível em: <http://www.iglc.net/Papers/Details/910>

HOPFE, C.J.; AUGENBROE, G.L.M.; HENSEN, J.L.M. Multi-criteria decision making under uncertainty in building performance assessment. **Building and Environment**, v.69, p.81-90, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.07.019>

HOPPEN, N. **Resolução de problemas, tomada de decisão e sistemas de informação**. Porto Alegre: SEBRAE, 1992. (Caderno de Administração Geral).

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Estações e dados**. 2017. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/>

JAHAN, A.; EDWARDS, K.L.; BAHRAMINASAB, M. **Multi-criteria decision analysis: for supporting the selection of engineering**. Cambridge, USA: Elsevier, 2012.

JAMES, J. P.; YANG, X. Emissions of volatile organic compounds from several green and non-green building materials: a comparison. **Indoor and Built Environment**, v.14, n.1, p.69–74, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/1420326X05050504>

JOHN, V.M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. 2000, 102p. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2000.

JOHN, V.M.; OLIVEIRA, D.P.; LIMA, J.A.R. **Levantamento do estado da arte: Seleção de materiais**. Documento 2.4. Projeto Tecnologias para construção habitacional mais sustentável. São Paulo: FINEP, 2007.

JOHN, V.M.; SATO, N.M.N.; AGOPYAN, V.; SJÖSTRÖM, C. Durabilidade e Sustentabilidade: desafios para a construção civil brasileira. In: Workshop sobre durabilidade das construções, 2001. **Anais...** São José dos Campos: ITA/Antac, 2001.

JOHN, V.M.; OLIVEIRA, D.P.; AGOPYAN, V. **Crítérios de sustentabilidade para seleção de materiais e componentes: uma perspectiva de países em desenvolvimento**. Departamento de Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2006.

KARAKHAN, A.; GAMBATESE, J.; RAJENDRAN, S. Application of Choosing by Advantages decision-making system to select fall-protection measures. In: 24<sup>th</sup> Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC), 24., 2016. **Proceedings...** Boston, USA: 2016. Disponível em: <http://iglc.net/Papers/Details/1255>

KATS, G.; BRAMAN, J.; JAMES, M. **Tornando nosso ambiente construído mais sustentável: custos, benefícios e estratégias**. São Paulo: Island Press, 2010.

KELLY, T. J.; SMITH, D.L.; SATOLA, J. Emission Rates of Formaldehyde from Materials and Consumer Products Found in California Homes. **Environmental Science & Technology**. v.33, n.1, p. 81-88, 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/es980592+>

KOSKELA, L. **Application of the new production philosophy to construction**. Stanford, EUA: Center for Integrated Facility Engineering(CIFE), Technical Report number 72, 1992. Disponível em: <https://cife.stanford.edu/application-new-production-philosophy-construction>

KOWALTOWSKI, D.C.C.K.; LABAKI, L.C.; PINA, S.M.G.; BERTOLLI, S.R.. A visualização do conforto ambiental no projeto arquitetônico. In: VII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC), 7., 1998. **Anais...** Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1998. p.371-379,

KPAMMA, Z. E.; ADJEI-KUMI, T.; AYARKWA, J.; ADINYIRA, E. Strategies considerations for applying choosing by advantages in designs process. In: 25<sup>th</sup> Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC), 25., 2017. **Proceedings...** Heraklion, Greece: 2017. pp 507-514. Disponível em: <https://doi.org/10.24928/2017/0239>.

LEE, H.W.; TOMMELEIN, I.D; BALLARD, G. Lean Design Management in an Infrastructure Design-Build Project : a case study. In: 18th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC), 18., 2010. **Proceedings...** Haifa, Israel: 2010. pp 113-122. Disponível em: <http://www.iglc.net/Papers/Details/691>.

LEOPARDI, M.T. **Alguns aspectos da pesquisa qualitativa**. 2.Ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 2002.

LOPES, R.; BAPTISTA, J.S.; DIOGO, M.T. Condições de conforto térmico na construção. In: Colóquio Internacional sobre Segurança e Higiene Ocupacionais (SHO 2008). **Anais...** 2008, p.175-178. Disponível em: <<http://paginas.fe.up.pt/~cigar/html/documents/ricardo.pdf>>.

MANFREDINI, C.; SATTLER, M.A. Estimativa da energia incorporada a materiais de cerâmica vermelha no Rio Grande do Sul. **Ambiente Construído**, v.5, n.1, p.23-37, 2005. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/3609/1990>

MAXIMILIANO, A.C. **Teoria Geral da Administração**. São Paulo: Atlas, 2002.

MEDINA, H.V. **Produção e uso sustentável de materiais: Gestão ambiental e análise do ciclo de vida**. In: Congresso Anual da ABM, 61., 2006. **Anais...** Rio de Janeiro: 2006. p.1781-1790.

MILANI, A. S.; ESKICIOGLU, C.; ROBLES, K.; BUJUN, K.; HOSSEINI-NASAB, H. Multiple criteria decision making with life cycle assessment for material selection of composites. **eXPRESS Polymer Letters**, v.5, n.12, p.1062–1074, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.3144/expresspolymlett.2011.104>

MORAES, L.F.R. **Avaliação multicritério de projetos de produção da indústria de petróleo no Brasil: uma análise comparativa dos métodos Prométhée e Todim**. 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Niterói (UFF), Niterói, 1999.

MYATT, M. **6 Tips for Making Better Decisions**. Forbes, mar. 2012. Disponível em: <https://www.forbes.com/sites/mikemyatt/2012/03/28/6-tips-for-making-better-decisions/#49f1d6c634dc>

NAKAMURA, J.; FIGUEROLA, V. Conheça os principais tipos de telhas metálicas e suas aplicações. **Revista Arquitetura e Urbanismo**. n.215. São Paulo: Pini, 2011.

NEGRO, C.; BLANCO, A.; FUENTE, E.; SÁNCHEZ, L.M; TIJERO, J. Influence of flocculant molecular weight and anionic charge on flocculation behavior and on the manufacture of fibre cement composites by the Hatscheck process. **Cement and Concrete Research**, v.35, n.11, p.2095-2103, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2005.03.004>

NORO, G.B. Tomada de decisão em gestão de projetos: um estudo realizado no setor de construção civil. **GEPROS: Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, Ano 7, n.4, 2012, p. 71-83.

OFFICE FOR NATIONAL STATISTICS (ONS). **Construction statistics, Great Britain: 2016**. A wide range of statistics and analysis on the construction industry in Great Britain in 2016. Disponível em:



<https://www.ons.gov.uk/businessindustryandtrade/constructionindustry/articles/constructionstatistics/number182017edition>.

OLIVEIRA, C.N. **O paradigma da sustentabilidade na seleção de materiais e componentes para edificações**. 2009. 197f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.

OLIVEIRA, D.P.R. **Sistemas de informações gerenciais: estratégias, táticas, operacionais**. 9ed. São Paulo: Atlas, 2004.

OLIVEIRA, V.H.M.; MARTINS, C.H. **AHP: ferramenta multicritério para tomada de decisão – shopping centers**. Curitiba: Appris, 2015. 125 p.

ORGANIZAÇÃO PARA COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO (OECD). **Aplicação da avaliação ambiental estratégica: guia de boas práticas na cooperação para o desenvolvimento**. OECD Publising. 2012. 168p. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264175877-pt>

PAGANELLA, W.O. **NR-18 e o planejamento de canteiros de obras**. Apostila do curso GOP - Gestão de Suprimentos e Logística. 42f. 2011.

PARLAMENTO EUROPEU. União Europeia (UE). Diretiva 2012/19 de 4 de julho de 2012 relativa aos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE). Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/pt/TXT/?uri=CELEX:32012L0019>

PARLAMENTO EUROPEU. União Europeia (UE). Diretiva 2018/852 de 30 de maio de 2018, que altera a Diretiva 94/62/CE relativa a embalagens e resíduos de embalagens. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/ALL/?uri=celex:32018L0852>

PARRISH, K.; TOMMELEIN, I. Making design decisions using Choosing by Advantages. In: 17<sup>th</sup> Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC), 17., 2009. **Proceedings...** Taipei, Taiwan: 2009. p.501-510. Disponível em: <http://www.iglc.net/Papers/Details/663>

PASSUELO, A. C. B.; OLIVEIRA A. F. de; COSTA, E. B. da; KIRCHHEIM, A. P. Aplicação da avaliação do ciclo de vida na análise de impactos ambientais de materiais de construção inovadores: estudo de caso da pegada de carbono de clínqueres alternativos. **Ambiente Construído**, v.14, n.4, p.7-20, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1678-86212014000400002>

PERALTA, G. **Desempenho térmico de telhas: análise de monitoramento e normalização específica**. 2006. 130f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2006.

PEREIRA, M.C.; DE PAULO, A.B.D.; MONTEIRO, M.R.M. Telhas em PVC uma questão de sustentabilidade e responsabilidade social. **Revista Gestão e Práxis**, v.2, n.1, 2017.

PINHEIRO, L.H.B.; MATTHIESEN, J.A.; AKASAKI, J.L. Study of timber and concrete with rubber waste composite beams applied to bridges. **Key Engineering Materials**. v.634, p.266-277, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.634.266>

PRADO FILHO, H.R. **As normas técnicas para as telhas de fibrocimento**. 2014. Disponível em: <https://qualidadeonline.wordpress.com/2014/10/08/as-normas-tecnicas-para-as-telhas-de-fibrocimento/>

REIS, R.P.A.; SOUZA, U.E.L.; OLIVEIRA, L.H. Alternativas e soluções de instalações hidráulicas provisórias em canteiros de obra. In: VX Encontro Nacional De Tecnologia Do Ambiente Construído (ENTAC), 15., 2004. **Anais...** São Paulo:2004, 13p.

ROBBINS, S.P. **Administração: mudanças e perspectivas**. São Paulo: Saraiva, 2006.

RODRIGO, A.G.; GAZARINI, D.; CARDOSO, F.F. **Projeto de contêineres metálicos para instalações provisórias em canteiros de obras**. In: SERRA, S.M.B. *et al.* (Org.), Tecnologia para canteiro de obras sustentável. São Carlos: FINEP/Scienza, 2017. p.235-248. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.26626/978-85-5953-027-8.2017C0012.p.235-248>

RODRIGUEZ, D.S.S.; COSTA, H.G.; DO CARMO, L.F.R.R.S. Métodos de auxílio multicritério à decisão aplicados a problemas de PCP: mapeamento da produção em periódicos publicados no Brasil. **Gestão & Produção**, v.20, n.1, p.134-146, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0104-530X2013000100010>

ROSENHEAD, J. **Rational analysis for a problematic world: problem structuring methods for complexity, uncertainty and conflict**. New Yor: John Wiley, 1989.

RUIZ, A.G. Inovações na construção civil garantem sustentabilidade. **AEC web**. 2015. Disponível em: [http://www.aecweb.com.br/cont/a/inovacoes-na-construcao-civil-garantem-sustentabilidade\\_10000](http://www.aecweb.com.br/cont/a/inovacoes-na-construcao-civil-garantem-sustentabilidade_10000)

SAATY, T.L. **Decision making for leaders: the analytic hierarchy process for decisions in a complex world**. 3<sup>rd</sup>. Pittsburgh: RWS Publications, 2012. 292p.

SAATY, T.L. Fundamentals of the Analytic Network Process: multiple networks with benefits, costs, opportunities and risks. **Journal of Systems Science and Systems Engineering**, v.13, n.3, p.348-379, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11518-006-0171-1>

SAATY, T.L. How to make a decision: the Analytic Hierachy Process. **Inform Journal on Applied Analytics**, v.24, n.6, p.19-43, 1994. Disponível em: <https://doi.org/10.1287/inte.24.6.19>

SAATY, T.L. How to make a decision: the Analytic Hierarchy Process. **European Journal of Operation Research**, v.48, i.5, p.9-26, 1990. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-I](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I)

SAID, H.; EL-RAYES, K.A. Optimizing material logistics planning in construction projects. In: ConstructionResearchCongress, 2010. **Proceedings...** Banff, Canada: 2010. p.1194-1203.

SALADO, G.C. **Painel de vedação vertical de tubos de papelão; estudo, proposta e análise de desempenho**. 2011. Tese (Doutorado em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2011.

SAURIN, T.A.; FORMOSO, C.T. **Planejamento de canteiros de obra e gestão de processos**. Recomendações Técnicas Habitare, FINEP, v.3, 2006.

SAUTER, V. **Decision support systems**. New York: John Wiley & Sons, 1997. 408 p.

SCHÖTTLE, A.; ARROYO, P.; HAAS GEORGIEV, C. Applying Choosing by Advantages in the public tendering procedure. In: 25<sup>th</sup> Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC), 25., 2017. **Proceedings...** Heraklion, Greece, 2017. p.45-52. Disponível em: <https://doi.org/10.24928/2017/0303>

ŠEDUIKYTE, L.; BLIŪDŽIUS, R. Pollutants emission from building materials and their influence on indoor air quality and people performance in offices. **Journal of Civil Engineering and Management**, v.11, n.2, p.137–144, 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/13923730.2005.9636343>>.

SILVA, D.M.R. Aplicação do método AHP para avaliação de projetos industriais. 2007. 128f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC RJ), Rio de Janeiro, 2007.

SILVA, K.C.P.; CAMPOS, A.T.; YANAGI JUNIOR, T.; CECCHIN, D.; LOURENÇONI, D.; FERREIRA, J.C. Reaproveitamento de resíduos de embalagens Tetra Pak® em coberturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.1, p.58–63, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n1p58-63>

SILVA, R.S.M.; AMARAL, T.G.; SILVA, F.M.A. Fuzzy Logic Applied to Lean Construction: an implementation in building companies. **Journal of Civil Engineering and Architect**, v.1, n. 1, p.37-44, 2014.

SPROUL, J.; WAN, M.P.; MANDEL, B.H.; ROSENFELD, A.H. Economic comparison of white, green, and black flat roofs in the United States. **Energy and Buildings**.v.71, p.20-27, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.11.058>

SUHR, J. **Basic Principles of Sound Decisionmaking**.1981. 12p. Disponível em: <https://www.lcicanada.ca/wp-content/uploads/2015/12/Basic-Principles-of-Sound-Decisionmaking.pdf>

SUHR, J. **The Choosing By Advantages**: decision making system. London: Quorum Books. 1999.

SZAJUBOCK, N.K.; ALENCAR, L.H.; ALMEIDA, A.T. Modelo de gerenciamento de materiais na construção civil utilizando avaliação multicritério. **Produção**, v.16, n.2, p.303-318, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-65132006000200010>.

TEXAS WOMAN’S UNIVERSITY COUSELING CENTER (TWUCC). **Counseling and Psychological Services**. 2016. Disponível em: <https://twu.edu/counseling/>

TORGAL, F.P.; JALALI, S. **A sustentabilidade dos materiais de construção**.3ª ed. Coimbra, Portugal: Vilaverdense. 2010.

TORGAL, F.P.; JALALI, S. Construção Sustentável: o caso dos materiais de construção. In: Congresso Construção, 3º Congresso Nacional da Universidade de Coimbra, 3., 2007. **Anais...** Portugal: 2007. 10p. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/55608414.pdf>

UGWU, O.O.; HAUPT, T.C. Key performance indicators and assessment methods for infrastructure sustainability: a South African construction industry perspective. **Building and Environment**, v.42, i.2, p.665–680, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.10.018>

UOL notícias. **Supremo Tribunal Federal proíbe uso do amianto em todo país**. 2017. Disponível em: <https://noticias.uol.com.br/saude/ultimas-noticias/redacao/2017/11/29/supremo-tribunal-federal-proibe-uso-do-amianto-em-todo-o-pais.htm>. Acesso em: ago. 2018.

VERZUH, E. **MBA Compacto**: gestão de projetos. Rio de Janeiro: Campus, 2000.

VOLPATO, G.L. **Método lógico para redação científica**. Botucatu: Best Writing, 2011. 320p.

WALMART BRASIL. **Produtos mais sustentáveis**: Projeto End-to-End: sustentabilidade de ponta a ponta. São Paulo, 2010. Disponível em: [www.walmartbrasil.com.br/sustentabilidade](http://www.walmartbrasil.com.br/sustentabilidade)

WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT (WCED). **Our Common Future: The Brundtland Report**. United Nations World Commission on Environment and Development. New York: Oxford University Press, 1987.

XU, J.; ZHANG, J.S.; LIU, X.; GAO, Z. Determination of partition and diffusion coefficients of formaldehyde in selected building materials and impact of relative humidity. **Journal of the Air & Waste Management Association**, v.62, n.6, p.671–679, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10962247.2012.665812>

YIN, R.K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 2001. 205p.

ZEULE, L.O. **Práticas e avaliação da sustentabilidade nos canteiros de obras**. 263 f. 2014. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2014.

# Apêndice A – Questionário com fabricantes

## PERGUNTAS PARA FÁBRICAS DE TELHAS

1. Qual o peso das telhas?
2. E as dimensões? (largura, comprimento, espessura)
3. A matéria-prima para produção das telhas vem de onde? Cidade?
4. Em quais cidades tem sua telha à venda?
5. As matérias-primas para produção das telhas são selecionadas através de um processo categórico? Como?
6. É realizado algum tratamento para prevenção da ocorrência de mofo ou bolor nas telhas? Qual?
7. Quais os custos de aquisição, instalação e manutenção destas telhas?
8. Quanto tempo é dado de garantia do produto?
9. A sua telha é feita com materiais 100% recicláveis?
10. Para produzir uma telha, qual a quantidade em porcentagem que se utiliza de cada matéria-prima?
11. Quantas vezes a telha ainda pode ser reciclada?
12. Você se certifica do desempenho térmico, desempenho acústico, durabilidade e manutenibilidade da sua telha através de alguma norma? Qual?
13. Você tem conhecimento em níveis, sobre o desempenho térmico, desempenho acústico, e a durabilidade do seu produto?
14. De quanto em quanto tempo esta telha precisa de manutenção? Qual o tipo de manutenção?
15. Quais ensaios você realiza ou já realizou em sua telha? Quais os resultados?

## Apêndice B – Preferência dos decisores para o método CBA

<i>1- Nome e cargo do respondente</i>
Nomes omitidos para não explicitar pessoas e empresas.
1 gestor de obras, 1 engenheiro ambiental e de certificação ambiental, 1 mestre de obras e 1 auxiliar de engenharia.
<i>2- Experiência do respondente</i>
Todos com pelo menos 5 anos de experiência.
<i>3- Quantas pessoas participaram destas respostas?</i>
4 pessoas
<i>4- Quantas pessoas fazem parte da equipe de projeto de canteiro/gerenciamento da empresa?</i>
4 pessoas
<i>5- Há algum procedimento em equipe para a tomada de decisão?</i>
A empresa possui seu próprio manual de especificações para IPC.
<i>6- Em uma escala de 0 a 5 qual o grau de importância equipe/empresa considera para Seleção de Materiais para as IPC?</i>
5
<i>7- Cite os materiais normalmente utilizados pela empresa para fechamento e cobertura de IPC?</i>
Fechamento padronizado em chapas OSB, e coberturas normalmente e telhas de fibrocimento sem amianto.
<i>8- Das telhas informadas em uso na atual pesquisa, diga se alguma delas é de uso na empresa e para qual finalidade.</i>
Fibrocimento como coberturas em IPC; Aço galvanizado para coberturas móveis; Aço galvanizado termoacústica na edificação permanente
<i>9- Descreva o custo de instalação e manutenção da telha utilizada em IPC, e atividades de instalação (carregamento por pessoas ou guinchos, etc) e se souber informar das demais telhas estudadas.</i>
A empresa contrata uma terceirizada especializada em IPC, portanto pagam um valor baseado no metro quadrado de construção de IPC
O custo de instalação das telhas de PVC, fibrocimento e reciclada são 50% mais baixos que a instalação de telhas em aço galvanizado.
Porém a manutenção ocorre da seguinte forma: para as telhas PVC, fibrocimento e reciclada necessita-se de manutenção a cada vez que vai ser reutilizada,
já as em aço galvanizado, quando ocorre algum dano são substituídas por novas, pois a manutenção é muito cara.
<i>10- As telhas instaladas na IPC são reutilizadas? Quantas vezes? Para qual finalidade?</i>
São reutilizadas para cobrir novas IPC, como sua durabilidade é em torno de 20 anos, reaproveita-se em obras enquanto estiver em bom estado de uso.

**Quadro 35 – Ponderação dos fatores CBA dada pelos tomadores de decisão**

FATORES	Explicação dos critérios	Grau de Importância de acordo com tomadores de decisão
1- PESO Critério: <i>Mais leve melhor</i>	Levando em consideração coberturas leves para IPC, pois quanto mais leve forem as telhas menos esforços terão de fazer os operários no momento da instalação, logo proporciona maior ergonomia, nota-se que este fator está relacionado diretamente com o operário, com o quanto o peso das telhas influem na mão de obra de instalação.	10
2-ESTÉTICA Critério: <i>Mais bonita melhor</i>	Atenderá a preferência do tomador de decisão. Está relacionado com o gosto do tomador de decisão, ou seja, está levando em consideração apenas a qualidade visual que o material proporciona.	15
3-EMIÇÃO DE CO <sub>2</sub> eq Critérios: <i>Menos transportes melhor</i>	Leva em consideração o aspecto ambiental pelas emissões de gases contribuintes para o efeito estufa prejudiciais ao meio ambiente, também é feita uma análise criteriosa desta emissão levando em consideração a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) junto à tomada de decisão.	25
4-BARREIRA ANTI MICROBIANA/ FERRUGEM Critério: <i>Possuir melhor</i>	Considerando que no processo de fabricação das telhas ocorrem procedimentos que as isentem de ocorrência de mofo, micro-organismos, ferrugem. Também leva-se em consideração o tempo máximo de duração das IPC, que talvez cheguem a três anos e não seja um tempo significativo para manifestação de fungos/ferrugem.	30
5-CONTROLE DE MATÉRIA- PRIMA Critério: <i>Possuir melhor</i>	Relacionado com a preocupação por parte dos fabricantes no controle das fontes de matérias-primas utilizadas para a fabricação de suas telhas, conhecimento de fontes, transportes, etc... Não tendo problemas com meio ambiente.	75
6-GARANTIA Critério: <i>Mais tempo melhor</i>	É importante oferecer assistência técnica prolongada quando se paga por um produto e este pode apresentar defeitos de fabricação	95
7-QUANTIDADE DE RECICLADOS Critério: <i>Maior quantidade melhor</i>	Aplicável somente às telhas com conteúdo reciclado. Porém, este tipo de produtos os ditos “sustentáveis” muitas vezes possuem pequena parcela de material reciclado, e até mesmo resinas que não se caracterizam como produtos sustentáveis.	70
8-POSSIBILIDADE DE RECICLAGEM Critério: <i>Se sim melhor</i>	Leva em consideração a quantidade de vezes que a Telha pode ser reciclada. Se isso não gera grande gasto de energia e dinheiro.	80

<b>FATORES</b>	<b>Explicação dos critérios</b>	<b>Grau de Importância de acordo com tomadores de decisão</b>
9- <b>DESEMPENHO TÉRMICO</b> Critério: <i>quanto menor a temperatura melhor</i>	No geral, leva em consideração o conforto do usuário no ambiente das IPC com relação ao desempenho térmico fornecido pelas coberturas leves. Quanto menor a temperatura registrada e observada dentro das IPC's ao longo do dia melhor o desempenho térmico da telha.	90
10- <b>DURABILIDADE</b> Critério: <i>Maior durabilidade melhor</i>	Analisando duas vertentes do fator: a durabilidade de fábrica, que normalmente é descrita por normas, e a durabilidade das telhas observada durante o período de utilização nas Instalações Provisórias de Canteiro (12 meses).	100
11- <b>CONSIDERAÇÕES DIMENSIONAIS</b> Critério: <i>Maior flexibilidade melhor</i>	Levando em conta as possibilidades de dimensões das coberturas leves estudadas, quanto as opções de tamanho e largura disponíveis para atender o projeto.	95
12- <b>FACILIDADES DO MATERIAL</b> Critério: <i>Maior número de facilidades melhor</i>	Considera-se: 1) disponibilidade do material com relação a quantidade em estoque, 2) facilidade na fabricação deste, e 3) se as matérias-primas são advindas de regiões próximas.	90

**Quadro 36** – Matriz de comparação do fator custo de utilização das telhas

<b>Alternativa</b>	<b>Custo de aquisição (%)</b>	<b>Custo de instalação (%)</b>	<b>Custo de manutenção (%)</b>
Telha com conteúdo reciclado polietileno-alumínio	10	10	50
Telha aço galvanizado ondulada	10	10	30
Telha aço galvanizado termoacústica com EPS	40	10	50
Telha em fibrocimento	10	10	30
Telha de PVC	30	10	40



## Apêndice C – Questionário de preferência AHP

1- Nome e cargo do respondente
Nomes omitidos para não explicitar pessoas e empresas.
1 gestor de obras, 1 engenheiro ambiental e de certificação ambiental, 1 mestre de obras, e 1 auxiliar de engenharia.
2- Experiência do respondente
Todos com pelo menos 5 anos de experiência.
3- Quantas pessoas participaram destas respostas?
4 pessoas
4- Quantas pessoas compõem o time de projeto de canteiro/gerenciamento da empresa?
4 pessoas
5- Há algum procedimento em equipe para a tomada de decisão?
A empresa possui seu próprio manual de especificações para IPC.
6- Em uma escala de 0 a 5 qual o grau de importância equipe/empresa considera para Seleção de Materiais para as IPC?
5
7- Cite os materiais normalmente utilizados pela empresa para fechamento e cobertura de IPC?
Fechamento padronizado em chapas OSB, e coberturas normalmente e telhas de fibrocimento sem amianto.
8- Das telhas informadas em uso na atual pesquisa, diga se alguma delas é de uso na empresa e para qual finalidade.
Fibrocimento como coberturas em IPC; Aço galvanizado para coberturas móveis; Aço galvanizado termoacústica na edificação permanente
9- Descreva o custo de instalação e manutenção da telha utilizada em IPC, e atividades de instalação (carregamento por pessoas ou guinchos, etc) e se souber informar das demais telhas estudadas.
A empresa contrata uma terceirizada especializada em IPC, portanto pagam um valor baseado no metro quadrado de construção de IPC
O custo de instalação das telhas de PVC, fibrocimento e reciclada são 50% mais baixos que a instalação de telhas em aço galvanizado.
Porém a manutenção ocorre da seguinte forma: para as telhas PVC, fibrocimento e reciclada necessita-se de manutenção a cada vez que vai ser reutilizada, já as em aço galvanizado, quando ocorre algum dano são substituídas por novas, pois a manutenção é muito cara.
10- As telhas instaladas na IPC são reutilizadas? Quantas vezes? Para qual finalidade?
São reutilizadas para cobrir novas IPC, como sua durabilidade é em torno de 20 anos, reaproveita-se em obras enquanto estiver em bom estado de uso.

**Quadro 37** – Intensidade de importância da comparação AHP (II)

1	Ambos elementos são de mesma importância
3	Moderada importância de um elemento sobre o outro
5	Forte importância de um elemento sobre o outro
7	Importância muito forte de um elemento sobre o outro
9	Extrema importância de um elemento sobre o outro
2,4,6,8	Valores intermediários entre as opiniões adjacentes

**Quadro 38** – Preferências dos tomadores de decisão para telha de fibrocimento

Aspecto Ambiental	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Aspecto Social
Aspecto Ambiental	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Aspecto Econômico
Aspecto Social	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Aspecto Econômico
Emissão de CO <sub>2eq</sub>	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Controle de matéria-prima
Emissão de CO <sub>2eq</sub>	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Possibilidade de reciclagem
Emissão de CO <sub>2eq</sub>	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Quantidade de reciclados
Emissão de CO <sub>2eq</sub>	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Facilidade do material
Controle de matéria-prima	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Possibilidade de reciclagem
Controle de matéria-prima	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Quantidade de reciclados
Controle de matéria-prima	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Facilidade do material
Possibilidade de reciclagem	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Quantidade de reciclados
Possibilidade de reciclagem	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Facilidade do material
Qtde de reciclados	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Facilidade do material
Desempenho térmico	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Peso
Desempenho térmico	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Barreira antimicrobiana
Desempenho térmico	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Consid. dimensionais
Desempenho térmico	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Estética
Peso	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Barreira antimicrobiana
Peso	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Consid. dimensionais
Peso	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Estética
Barreira antimicrobiana	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Consid. dimensionais
Barreira antimicrobiana	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Estética
Consid. dimensionais	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Estética
Custo de aquisição	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Garantia
Custo de aquisição	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Durabilidade
Custo de aquisição	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Custo de instalação
Custo de aquisição	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Custo de manutenção
Garantia	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Durabilidade
Garantia	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Custo de instalação
Garantia	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Custo de manutenção
Durabilidade	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Custo de instalação
Durabilidade	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Custo de manutenção
Custo de instalação	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Custo de manutenção
<b>Legenda</b>																		Telha aço galv. termoac.
Telha com cont. recic.																		Telha de PVC
Telha aço galvanizado																		Telha em fibrocimento

**Quadro 39** – Preferências dos tomadores de decisão para telha de aço galvanizado termoacústica

Aspecto Ambiental	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Aspecto Social
Aspecto Ambiental	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Aspecto Econômico
Aspecto Social	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Aspecto Econômico
Emissão de CO <sub>2eq</sub>	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Controle de matéria-prima
Emissão de CO <sub>2eq</sub>	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Possibilidade de reciclagem
Emissão de CO <sub>2eq</sub>	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Quantidade de reciclados
Emissão de CO <sub>2eq</sub>	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Facilidade do material
Controle de matéria-prima	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Possibilidade de reciclagem
Controle de matéria-prima	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Quantidade de reciclados
Controle de matéria-prima	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Facilidade do material
Possibilidade de reciclagem	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Quantidade de reciclados
Possibilidade de reciclagem	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Facilidade do material
Quantidade de reciclados	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Facilidade do material
Desempenho térmico	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Peso
Desempenho térmico	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Barreira antimicrobiana
Desempenho térmico	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Consid. dimensionais
Desempenho térmico	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Estética
Peso	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Barreira antimicrobiana
Peso	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Consid. dimensionais
Peso	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Estética
Barreira antimicrobiana	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Consid. dimensionais
Barreira antimicrobiana	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Estética
Considerações dimensionais	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Estética
Custo de aquisição	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Garantia
Custo de aquisição	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Durabilidade
Custo de aquisição	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Custo de instalação
Custo de aquisição	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Custo de manutenção
Garantia	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Durabilidade
Garantia	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Custo de instalação
Garantia	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Custo de manutenção
Durabilidade	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Custo de instalação
Durabilidade	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Custo de manutenção
Custo de instalação	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Custo de manutenção
<b>Legenda</b>																		Telha aço galv. termoac.
Telha com cont. recic.																		Telha de PVC
Telha aço galvanizado																		Telha em Fibrocimento

**Quadro 40** – Preferências dos tomadores de decisão para telha de aço galvanizado ondulada

Aspecto Ambiental	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Aspecto Social
Aspecto Ambiental	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Aspecto Econômico
Aspecto Social	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Aspecto Econômico
Emissão de CO <sub>2eq</sub>	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Controle de matéria-prima
Emissão de CO <sub>2eq</sub>	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Possibilidade de reciclagem
Emissão de CO <sub>2eq</sub>	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Quantidade de reciclados
Emissão de CO <sub>2eq</sub>	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Facilidade do material
Controle de matéria-prima	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Possibilidade de reciclagem
Controle de matéria-prima	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Quantidade de reciclados
Controle de matéria-prima	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Facilidade do material
Possibilidade de reciclagem	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Quantidade de reciclados
Possibilidade de reciclagem	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Facilidade do material
Quantidade de reciclados	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Facilidade do material
Desempenho térmico	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Peso
Desempenho térmico	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Barreira antimicrobiana
Desempenho térmico	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Consid. dimensionais
Desempenho térmico	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Estética
Peso	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Barreira antimicrobiana
Peso	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Consid. dimensionais
Peso	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Estética
Barreira antimicrobiana	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Consid. dimensionais
Barreira antimicrobiana	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Estética
Consid dimensionais	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Estética
Custo de aquisição	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Garantia
Custo de aquisição	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Durabilidade
Custo de aquisição	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Custo de instalação
Custo de aquisição	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Custo de manutenção
Garantia	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Durabilidade
Garantia	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Custo de instalação
Garantia	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Custo de manutenção
Durabilidade	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Custo de instalação
Durabilidade	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Custo de manutenção
Custo de instalação	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Custo de manutenção
<b>Legenda</b>																		Telha aço galv. termoac.
Telha com cont. recic.																		Telha de PVC
Telha aço galvanizado																		Telha em Fibrocimento

**Quadro 41** – Preferências dos tomadores de decisão para telha de PVC

Aspecto Ambiental	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Aspecto Social
Aspecto Ambiental	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Aspecto Econômico
Aspecto Social	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Aspecto Econômico
Emissão de CO <sub>2</sub> eq	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Controle de matéria-prima
Emissão de CO <sub>2</sub> eq	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Possibilidade de reciclagem
Emissão de CO <sub>2</sub> eq	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Quantidade de reciclados
Emissão de CO <sub>2</sub> eq	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Facilidade do material
Controle de matéria-prima	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Possibilidade de reciclagem
Controle de matéria-prima	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Quantidade de reciclados
Controle de matéria-prima	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Facilidade do material
Possibilidade de reciclagem	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Quantidade de reciclados
Possibilidade de reciclagem	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Facilidade do material
Qtde de reciclados	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Facilidade do material
Desempenho térmico	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Peso
Desempenho térmico	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Barreira antimicrobiana
Desempenho térmico	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Consid. dimensionais
Desempenho térmico	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Estética
Peso	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Barreira antimicrobiana
Peso	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Consid. dimensionais
Peso	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Estética
Barreira antimicrobiana	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Consid. dimensionais
Barreira antimicrobiana	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Estética
Consid. dimensionais	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Estética
Custo de aquisição	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Garantia
Custo de aquisição	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Durabilidade
Custo de aquisição	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Custo de instalação
Custo de aquisição	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Custo de manutenção
Garantia	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Durabilidade
Garantia	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Custo de instalação
Garantia	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Custo de manutenção
Durabilidade	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Custo de instalação
Durabilidade	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Custo de manutenção
Custo de instalação	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Custo de manutenção
<b>Legenda</b>																		Telha aço galv. termoac.
Telha com cont. recic.																		Telha de PVC
Telha aço galvanizado																		Telha em Fibrocimento

**Quadro 42** – Preferências dos tomadores de decisão para telha com conteúdo reciclado polietileno-alumínio

Aspecto Ambiental	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Aspecto Social
Aspecto Ambiental	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Aspecto Econômico
Aspecto Social	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Aspecto Econômico
Emissão de CO <sub>2</sub> eq	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Controle de matéria-prima
Emissão de CO <sub>2</sub> eq	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Possibilidade de reciclagem
Emissão de CO <sub>2</sub> eq	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Qtde.de reciclados
Emissão de CO <sub>2</sub> eq	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Facilidade do material
Controle de matéria-prima	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Possibilidade de reciclagem
Controle de matéria-prima	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Qtde.de reciclados
Controle de matéria-prima	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Facilidade do material
Possibilidade de reciclagem	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Qtde.de reciclados
Possibilidade de reciclagem	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Facilidade do material
Qtde.de reciclados	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Facilidade do material
Desempenho térmico	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Peso
Desempenho térmico	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Barreira antimicrobiana
Desempenho térmico	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Consid. dimensionais
Desempenho térmico	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Estética
Peso	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Barreira antimicrobiana
Peso	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Consid. dimensionais
Peso	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Estética
Barreira antimicrobiana	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Consid. dimensionais
Barreira antimicrobiana	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Estética
Consid. dimensionais	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Estética
Custo de aquisição	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Garantia
Custo de aquisição	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Durabilidade
Custo de aquisição	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Custo de instalação
Custo de aquisição	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Custo de manutenção
Garantia	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Durabilidade
Garantia	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Custo de instalação
Garantia	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Custo de manutenção
Durabilidade	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Custo de instalação
Durabilidade	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Custo de manutenção
Custo de instalação	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Custo de manutenção
<b>Legenda</b>																		Telha aço galv. termoac.
Telha com cont. recicl.																		Telha de PVC
Telha aço galvanizado																		Telha em Fibrocimento

## Apêndice D – Matrizes AHP para as telhas e Método de cálculo AHP – exemplo para cobertura leve de polietileno-alumínio

**Quadro 43** – Julgamento paritário aspecto ambiental -critérios telha PVC

Aspecto Ambiental	Emissão de CO <sub>2eq</sub>	Controle de matéria-prima	Possibilidade de reciclagem	Quantidade de reciclados	Facilidade do material
Emissão de CO <sub>2eq</sub>	1	1/5	1	1	1/6
Controle de matéria-prima	5	1	1	3	1
Possibilidade de reciclagem	1/1	1/1	1	1	1/4
Quantidade de reciclados	1/1	1/3	1/1	1	1/5
Facilidade do material	6	1/1	4	5	1

Fonte: Autora, 2017.

**Quadro 44** – Julgamento paritário aspecto ambiental - critérios telha com conteúdo reciclado Polietileno-alumínio

Aspecto Ambiental	Emissão de CO <sub>2eq</sub>	Controle de matéria-prima	Possibilidade de reciclagem	Quantidade de reciclados	Facilidade do material
Emissão de CO <sub>2eq</sub>	1	1/5	1/4	1/3	1/4
Controle de matéria-prima	5	1	1/2	1	1
Possibilidade de reciclagem	4	2	1	3	2
Quantidade de reciclados	3	1/1	1/3	1	1
Facilidade do material	4	1/1	1/2	1/1	1

Fonte: Autora, 2017.

**Quadro 45** – Julgamento paritário aspecto ambiental - critérios telha fibrocimento

Aspecto Ambiental	Emissão de CO <sub>2eq</sub>	Controle de matéria-prima	Possibilidade de reciclagem	Quantidade de reciclados	Facilidade do material
Emissão de CO <sub>2eq</sub>	1	1/4	1/4	1/5	1/3
Controle de matéria-prima	4	1	1	2	3
Possibilidade de reciclagem	4	1/1	1	4	2
Quantidade de reciclados	5	1/2	1/4	1	1
Facilidade do material	3	1/3	1/2	1/1	1

Fonte: Autora, 2017.

**Quadro 46** – Julgamento paritário aspecto ambiental - critérios telha aço galvanizado ondulada

Aspecto Ambiental	Emissão de CO <sub>2eq</sub>	Controle de matéria-prima	Possibilidade de reciclagem	Quantidade de reciclados	Facilidade do material
Emissão de CO <sub>2eq</sub>	1	1/4	1/3	1/3	1/2
Controle de matéria-prima	4	1	1	1/2	3
Possibilidade de reciclagem	3	1/1	1	4	1
Quantidade de reciclados	3	2	1/4	1	1
Facilidade do material	2	1/3	1/1	1/1	1

Fonte: Autora, 2017.

**Quadro 47** – Julgamento paritário aspecto ambiental - critérios telha aço galvanizado trapezoidal termoacústica com EPS

Aspecto Ambiental	Emissão de CO <sub>2eq</sub>	Controle de matéria-prima	Possibilidade de reciclagem	Quantidade de reciclados	Facilidade do material
Emissão de CO <sub>2eq</sub>	1	1/3	1/3	1/2	1/4
Controle de matéria-prima	3	1	1	1	1
Possibilidade de reciclagem	3	1/1	1	3	3
Quantidade de reciclados	2	1/1	1/3	1	2
Facilidade do material	4	1/1	1/3	1/2	1

Fonte: Autora, 2017.

**Quadro 48** – Julgamento paritário aspecto social - critérios telha PVC

Aspecto Social	Desempenho térmico	Peso	Barreira antimicrobiana	Considerações dimensionais	Estética
Desempenho térmico	1	1/5	1/5	1/5	1/5
Peso	5	1	1	1	1
Barreira antimicrobiana	5	1/1	1	1	1
Considerações dimensionais	5	1/1	1/1	1	1
Estética	5	1/1	1/1	1/1	1

Fonte: Autora, 2017.



**Quadro 49** – Julgamento paritário aspecto social - critérios telha com conteúdo reciclado Polietileno-alumínio

Aspecto Social	Desempenho térmico	Peso	Barreira antimicrobiana	Considerações dimensionais	Estética
<b>Desempenho térmico</b>	1	1	2	2	2
<b>Peso</b>	1/1	1	2	2	2
<b>Barreira antimicrobiana</b>	1/2	1/2	1	2	2
<b>Considerações dimensionais</b>	1/2	1/2	1/2	1	1
<b>Estética</b>	1/2	1/2	1/2	1/1	1

Fonte: Autora, 2017.

**Quadro 50** – Julgamento paritário aspecto social - critérios telha fibrocimento

Aspecto Social	Desempenho térmico	Peso	Barreira antimicrobiana	Considerações dimensionais	Estética
<b>Desempenho térmico</b>	1	4	3	3	3
<b>Peso</b>	1/4	1	2	1	3
<b>Barreira antimicrobiana</b>	1/3	1/2	1	1	2
<b>Considerações dimensionais</b>	1/3	1/1	1/1	1	2
<b>Estética</b>	1/3	1/3	1/2	1/2	1

Fonte: Autora, 2017.

**Quadro 51** – Julgamento paritário aspecto social - critérios telha aço galvanizado ondulada

Aspecto Social	Desempenho térmico	Peso	Barreira antimicrobiana	Considerações dimensionais	Estética
<b>Desempenho térmico</b>	1	1	3	3	2
<b>Peso</b>	1/1	1	2	2	2
<b>Barreira antimicrobiana</b>	1/3	1/2	1	1	1
<b>Considerações dimensionais</b>	1/3	1/2	1/1	1	1
<b>Estética</b>	1/2	1/2	1/1	1/1	1

Fonte: Autora, 2017.

**Quadro 52** – Julgamento paritário aspecto social - critérios telha aço galvanizado trapezoidal termoacústica com EPS

Aspecto Social	Desempenho térmico	Peso	Barreira antimicrobiana	Considerações dimensionais	Estética
<b>Desempenho térmico</b>	1	4	4	4	3
<b>Peso</b>	1/4	1	1/2	1	1
<b>Barreira antimicrobiana</b>	1/4	2	1	2	2
<b>Considerações dimensionais</b>	1/4	1/1	1/2	1	2
<b>Estética</b>	1/3	1/1	1/2	1/2	1

Fonte: Autora, 2017.

**Quadro 53** – Julgamento paritário aspecto econômico - critérios telha PVC

Aspecto Econômico	Custo de aquisição	Garantia	Durabilidade	Custo de instalação	Custo de manutenção
Custo de aquisição	1	5	3	1	1
Garantia	1/5	1	1/3	1/3	1/3
Durabilidade	1/3	3	1	1/3	1/3
Custo de instalação	1/1	3	3	1	1
Custo de manutenção	1/1	3	3	1/1	1

Fonte: Autora, 2017.

**Quadro 54** – Julgamento paritário aspecto econômico - critérios telha com conteúdo reciclado Polietileno-alumínio

Aspecto Econômico	Custo de aquisição	Garantia	Durabilidade	Custo de instalação	Custo de manutenção
Custo de aquisição	1	4	5	1	5
Garantia	1/4	1	1/4	1/4	1/3
Durabilidade	1/5	4	1	1/3	1
Custo de instalação	1/1	4	3	1	3
Custo de manutenção	1/5	3	1/1	1/3	1

Fonte: Autora, 2017.

**Quadro 55** – Julgamento paritário aspecto econômico - critérios telha fibrocimento

Aspecto Econômico	Custo de aquisição	Garantia	Durabilidade	Custo de instalação	Custo de manutenção
Custo de aquisição	1	1	1/3	1	1
Garantia	1/1	1	1/2	1	2
Durabilidade	3	2	1	3	2
Custo de instalação	1/1	1/1	1/3	1	1
Custo de manutenção	1/1	1/2	1/2	1/1	1

Fonte: Autora, 2017.

**Quadro 56** – Julgamento paritário aspecto econômico - critérios telha aço galvanizado ondulada

Aspecto Econômico	Custo de aquisição	Garantia	Durabilidade	Custo de instalação	Custo de manutenção
Custo de aquisição	1	3	3	1	4
Garantia	1/3	1	1/4	1/3	2
Durabilidade	1/3	4	1	1/4	1/5
Custo de instalação	1/1	3	4	1	6
Custo de manutenção	1/4	1/2	5	1/6	1

Fonte: Autora, 2017.

**Quadro 57** – Julgamento paritário aspecto econômico - critérios telha aço galvanizado trapezoidal termoacústica com EPS

Aspecto Econômico	Custo de aquisição	Garantia	Durabilidade	Custo de instalação	Custo de manutenção
Custo de aquisição	1	2	1/2	1	3
Garantia	1/2	1	1/3	1/2	1
Durabilidade	2	3	1	2	2
Custo de instalação	1/1	2	1/2	1	2
Custo de manutenção	1/3	1/1	1/2	1/2	1

Fonte: Autora, 2017.

Após indicação dos tomadores de decisão pelas preferências a cada dois subcritérios, isto é transcrito para a matriz, onde compara-se para a par, como ilustrado a seguir no exemplo para a Telha em Polietileno-alumínio.

**Quadro 58** – Exemplo de matriz AHP para telha em polietileno-alumínio

	CO <sub>2eq</sub>	CMP	PR	QTR	FM
CO <sub>2eq</sub>	1	1/5	1/4	1/3	1/4
CMP	5	1	1/2	1	1
PR	4	2	1	3	2
QTR	3	1	1/3	1	1
FM	4	1	1/2	1	1

Fonte: Autora, 2018.

Nota-se que a matriz compara aos pares os subcritérios Dióxido de Carbono Equivalente (CO<sub>2eq</sub>), Controle de matéria prima (CMP), Possibilidade de reciclagem (PR), Quantidade de reciclados (QTR) e Facilidade do material (FM). E assim o tomador de decisão, neste caso, a equipe da construtora foi demonstrando as preferências de um subcritério sob o outro. Depois essa matriz foi normalizada, com a soma de todos os elementos na coluna.

**Quadro 59** – Exemplo de matriz AHP para telha em polietileno-alumínio (II)

	CO <sub>2eq</sub>	CMP	PR	QTR	FM
CO <sub>2eq</sub>	1	0,2	0,25	0,33	0,25
CMP	5	1	0,5	1	1
PR	4	2	1	3	2
QTR	3	1	0,33	1	1
FM	4	1	0,5	1	1
Total	<b>17,00</b>	<b>5,2</b>	<b>2,58</b>	<b>6,33</b>	<b>5,25</b>

Fonte: Autora, 2018.

Com os valores da soma das colunas são determinados os auto vetor da matriz. E depois disso, com a normatização da matriz, dada pela divisão de cada elemento da matriz dividido pelo somatório de sua coluna (auto vetor).

**Quadro 60** – Exemplo de matriz normatizada para telha em polietileno-alumínio

NORMATIZAÇÃO	$1/17=$ 0,0588	$0,2/5,2=$ 0,0385	$0,25/2,58=$ 0,0969	$0,33/6,33=$ 0,0521	$0,25/5,25=$ 0,0476
	$5/17=$ 0,2941	$1/5,2=$ 0,1923	$0,5/2,58=$ 0,1938	$1/6,33=$ 0,1580	$1/5,25=0,1905$
	$4/17=$ 0,2353	$2/5,2=$ 0,3846	$1/2,58=$ 0,3876	$3/6,33=$ 0,4739	$2/5,25=$ 0,3810
	$3/17=$ 0,1765	$1/5,2$ 0,1923	$0,33/2,58=$ 0,1270	$1/6,33=$ 0,1580	$1/5,25=$ 0,1905
	$4/17=$ 0,2353	$1/5,2=$ 0,1923	$0,5/2,58=$ 0,1938	$1/6,33=$ 0,1580	$1/5,25=$ 0,1905

Fonte: Autora, 2018.

O próximo passo é encontrar o valor de Prioridade Média Local (PML), que é exatamente o valor utilizado para ponderar os subcritérios analisados. Encontra-se esse valor por meio da somatória dos elementos linha da matriz dividido pela ordem desta matriz, que neste caso é de ordem 5:

**Quadro 61** – PML da matriz AHP da telha em polietileno-alumínio

	CO <sub>2eq</sub>	CMP	PR	QTR	FM
CO <sub>2eq</sub>	1	0,2	0,25	0,33	0,25
CMP	5	1	0,5	1	1
PR	4	2	1	3	2
QTR	3	1	0,33	1	1
FM	4	1	0,5	1	1

Fonte: Autora, 2018.

$$CO_2 = (1+0,2+0,25+0,33+0,25)/5 = 0,0588 \text{ ou } 5,88\%$$

$$CMP = 0,2057 \text{ ou } 20,27\%$$

$$PR = 0,3725 \text{ ou } 37,25\%$$

$$QTR = 0,1690 \text{ ou } 16,90\%$$

$$FM = 0,1940 \text{ ou } 19,40\%$$

Ou seja, esta soma tem que totalizar 100%, significando que os cinco subcritérios foram distribuídos igualmente, e assim tem-se o que foi buscado empregando o método AHP para efeito de comparação com CBA, pois as porcentagens aqui encontradas representam o impacto do subcritério da comparação paritária.

Dessa forma, o peso dos subcritérios são identificados pelas porcentagens da PML, e entende-se que emissão de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2eq</sub>) tem impacto de 5,88% na opinião do tomador de decisão para telhas de polietileno-alumínio, enquanto o subcritério possibilidade de reciclagem (PR) impacta em 37,25%.

A seguir, é exposto o restante do cálculo até chegar no Índice de Consistência. A síntese da Prioridade Média Local (PML) é obtida pelo somatório do produto da PML pelo auto vetor encontrado antes, denominado lâmbida máximo:

$$\lambda_{\max} = \sum (PML_{CO2} \cdot W_{CO2}) + (PML_{CMP} \cdot W_{CMP}) + (PML_{PR} \cdot W_{PR}) + (PML_{QTR} \cdot W_{QTR}) + (PML_{FM} \cdot W_{FM})$$

$$\lambda_{\max} = \sum (0,0588 \cdot 17,00) + (0,2057 \cdot 5,2) + (0,3725 \cdot 2,58) + (0,1690 \cdot 6,33) + (0,1940 \cdot 5,25)$$

$$\lambda_{\max} = 5,118495$$

Depois de calculado o  $\lambda_{\max}$  é encontrado o Índice de Consistência (IC) da matriz por meio da seguinte equação:

$$IC = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{n - 1}$$

n = número de ordem da matriz

$$IC = \frac{(5,1185 - 5)}{5 - 1}$$

$$IC = 0,0296$$

Após isso indica-se o Índice de Consistência Randômico (IR) que é obtido pela tabela adaptada de Schmidt (Quadro 62) (SAATY, 1991) que indica os valores IR de acordo com o número da matriz:

**Quadro 62 – Índice Randômico Médio do AHP**

Ordem da Matriz	1	2	3	4	5	6	N
IR	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,25	...

Fonte: Saaty (1991)

De acordo com Oliveira e Martins (2015), o IR foi obtido por meio de amostras de matrizes de julgamentos para cada ordem da matriz, inserindo números entre 1 e 9 e seus recíprocos nas posições acima da diagonal principal das matrizes, obtendo-se a média aritmética chegou-se aos valores do Índice de Consistência Randômico (IR).

Sendo as comparações de caráter subjetivo é necessário avaliar a proximidade entre  $\lambda_{\max}$  e n, portanto utiliza-se a Razão de Consistência (RC):

$$RC = IC/IR$$

$$RC = 0,0296 / 1,12$$

$$RC = 0,0264$$

Uma matriz é considerada consistente quando o valor de RC for menor que 0,10, caso contrário é recomendado uma revisão das estimativas feitas para a matriz de comparação. No exemplo apresentado, o valor é menor que 0,1 que caracteriza o julgamento como consistente.