

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**  
**DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL**  
**CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

ISABELLA MARIANO NEVES  
ISADORA OLIVEIRA SETTA

**PROCESSO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA PARA SISTEMAS DE  
FÔRMAS PARA CONCRETO ARMADO COM BASE EM CRITÉRIOS  
DE SUSTENTABILIDADE**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2021

**ISABELLA MARIANO NEVES**

**ISADORA OLIVEIRA SETTA**

**PROCESSO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA PARA SISTEMAS DE FÔRMAS PARA  
CONCRETO ARMADO COM BASE EM CRITÉRIOS DE SUSTENTABILIDADE**

**Hierarchical analysis process for forming systems for armed concrete based  
on sustainability criteria**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. M. Eng. Carlos Alberto da Costa.

Coorientador: Prof. Dr. Cezar Augusto Romano

**CURITIBA**

**2021**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais.

Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**ISABELLA MARIANO NEVES**

**ISADORA OLIVEIRA SETTA**

**PROCESSO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA PARA SISTEMAS DE FÔRMAS PARA  
CONCRETO ARMADO COM BASE EM CRITÉRIOS DE SUSTENTABILIDADE**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 01 de setembro de 2021

---

Carlos Alberto da Costa  
Mestre Engenheiro  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Cezar Augusto Romano  
Doutor  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Alfredo Iarozinski Neto  
Doutor  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Vanessa Nahhas Scandelari  
Doutora  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**CURITIBA**

**2021**

Dedicamos este trabalho a todos que nos apoiaram, incentivaram e acreditaram em nós durante todo o curso.

## **AGRADECIMENTOS**

Nós gostaríamos de agradecer primeiramente à Universidade Tecnológica Federal do Paraná, por toda a estrutura fornecida e ensinamentos passados durante toda a graduação, nos permitindo realizar este trabalho. Gostaríamos de agradecer aos orientadores Carlos Alberto da Costa e Cezar Augusto Romano, que nos direcionaram durante todo o trabalho.

Agradecemos aos nossos familiares por nos apoiarem, incentivarem e ajudarem em todo o percurso da graduação e do trabalho de conclusão de curso. Agradecemos também uma à outra, pelo companheirismo, dedicação e amizade durante os últimos seis anos.

Sua meta é ser o melhor do mundo  
naquilo que você faz. Não existem  
alternativas.

(FALCONI, Vicente)

## RESUMO

A construção civil, apesar de ser uma atividade já desenvolvida pelo homem há muitos anos, ainda possui diversas aberturas para melhorias e alternativas que sejam capazes de alinhar esse progresso com a sustentabilidade. Notando-se a influência que a etapa estrutural de uma edificação possui nesse contexto, este presente trabalho tem como objetivo comparar diferentes sistemas de fôrmas para pilares em concreto armado, utilizando o Método de Análise Hierárquica (AHP) para tomada de decisão, incluindo critérios de sustentabilidade. Para tanto, respaldando-se na escolha de critérios de sustentabilidade, o desenvolvimento consiste na coleta de dados de duas obras de uma mesma construtora, localizadas em Curitiba, em que foram utilizadas fôrmas de madeira para a constituição de seus pilares. Para a comparação, foram obtidas informações por meio de contato com fornecedores do material a ser comparado. De modo que fosse possível entender o sistema mais adequado, foi desenvolvida uma planilha de cálculos fundamentada no método AHP e na hierarquização dos critérios previamente definidos. Com isso, chegou-se à conclusão de que a solução que se mostrou mais sustentável foi o sistema de fôrmas de madeira.

**Palavras-chave:** Indústria da construção. Fôrmas. Estruturas de concreto armado. Análise Hierárquica. Sustentabilidade.

## ABSTRACT

Construction, despite being an activity already developed by man for many years, still has several openings for improvements and alternatives that are able to align this progress with sustainability. Noting the influence that the structural stage of a building has in this context, this present work aims to compare different formwork systems for reinforced concrete pillars, using the Hierarchical Analysis Method (AHP) for decision making, including sustainability criteria. To this end, relying on the choice of sustainability criteria, the development consists in the data collection of two works of the same construction company, located in Curitiba, where wooden formwork was used to build its pillars. For comparison, information was obtained through contact with suppliers of the material to be compared. In order to be able to understand the most appropriate system, a spreadsheet of calculations was developed based on the AHP method and the ranking of the previously defined criteria. This led to the conclusion that the most sustainable solution was the wood formwork system.

**Keywords:** Construction industry. Formworks. Reinforced concrete structures. Analytic Hierarchy. Sustainability.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Edificação utilizando método reticular de concreto armado .....	17
Figura 2 – Metodologia para montagem de fôrmas de concreto .....	18
Figura 3 - Detalhe de chapa ou face de um pilar da fôrma .....	21
Figura 4 - esquema de estrutura de fôrma para pilar .....	21
Figura 5 - Numero de reuso de uma fôrma para pilar .....	22
Figura 6 - Disposição de fôrma para pilar final .....	26
Figura 7 - conector para fôrmas metálicas. ....	26
Figura 8 - Esquema com conectores instalados.....	27
Figura 9 - Representação em planta de onde deve ocorrer encaixe das cantoneiras. .....	27
Figura 10 – Dimensões da Sustentabilidade .....	30
Figura 11 - Requisitos para uma construção sustentável.....	32
Figura 12 - Fluxo de decisão para os métodos AHP, ELECTRE e PROMETHEE. ....	37
Figura 13 - Exemplo de hierarquia de critérios.....	39

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Mão de obra e materiais para a fabricação de pilares.....	22
Tabela 2 - Mão de obra e materiais para a montagem e desforma de pilares .....	23
Tabela 3 - Base salarial Sintracon 2021 .....	23
Tabela 4 - Tamanhos e modelos para fôrmas metálicas (Ideal).....	25
Tabela 5 - Modelos e peso de cantoneiras .....	28
Tabela 6 - Descrição de valores para locação mensal de fôrmas .....	28
Tabela 7 - Valor de descarregamento de material .....	28
Tabela 8 – Energia incorporada (EI) de alguns materiais da construção civil .....	36
Tabela 9 - Exemplo de matriz com $n = 2$ e A mais importante que B.....	40
Tabela 10 - Índice de consistência randômico .....	42
Tabela 11 - Critérios x Vetor decisão .....	43
Tabela 12 - Critérios e Formulários .....	48
Tabela 13 - Critérios e Formulários (Continuação).....	49
Tabela 14 - Relação de metragem obra 01 e obra 02.....	51
Tabela 15 - Indicadores de Custo Mão de Obra (R\$/m <sup>2</sup> ) .....	52
Tabela 16 - Valor total de materiais.....	52
Tabela 17 - Indicadores de Custo Material (R\$/m <sup>2</sup> ).....	52
Tabela 18 – Valores de horas trabalhadas (Hh).....	54
Tabela 19 - Indicadores de índice de trabalho e retrabalho (Hh/m <sup>2</sup> ) .....	54
Tabela 20 - Indicador de Sobre esforço em manobras (kg/m <sup>2</sup> ) .....	54
Tabela 21 - Indicadores de mão de obra local (%).....	55
Tabela 22 - Indicadores de fornecedores de materiais locais (%).....	55
Tabela 23 - Indicadores de consumo de recursos bióticos vegetais (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ) .....	56
Tabela 24 - Indicadores de consumo de recursos abióticos minerais metálicos (kg/m <sup>2</sup> ).....	56
Tabela 25 - Indicadores de consumo de recursos abióticos hídricos (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ) .....	56

Tabela 26 - Indicadores de consumo de recursos abióticos energéticos renováveis (kWh/m <sup>2</sup> ).....	57
Tabela 27 - Indicadores de geração de resíduos sólidos (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ) .....	57
Tabela 28 - Resumo critérios x indicadores .....	58
Tabela 29 - Critérios e ordem de priorização .....	59
Tabela 30 - Matriz resultado com peso de indicadores Obra 01 .....	60
Tabela 31 - Matriz resultado com peso de indicadores Obra 02 .....	60
Tabela 32 - Vetor decisão obra 01 .....	61
Tabela 33 - Vetor decisão obra 02 .....	61

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Escala fundamental de números absolutos.....	40
Quadro 2 – Categorias x Critérios .....	47

## LISTA DE ABREVIATURAS

AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
GEE	Gases de Efeito Estufa
ICC	Indústria da Construção Civil
IC	Índice de Consistência
MCDM	<i>Multiple Criteria Decision Making</i>
NBR	Norma Técnica Brasileira
RC	Relação de Consistência
RCC	Resíduos da Construção Civil
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
KPI	<i>Key Performance Indicators</i>

## LISTA DE SIGLAS

HQE	<i>Haute Qualité Environnementale</i>
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CBIC	Câmara Brasileira da Construção Civil
CEF	Caixa Econômica Federal
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
ONU	Organização das Nações Unidas
PR	Paraná
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

## LISTA DE ACRÔNIMOS

AQUA	Alta Qualidade Ambiental
PIB	Produto Interno Bruto
BEPAC	<i>Building Environmental Performance Assesment Criteria</i>
BREEAM	<i>Building Research Establishment Environmental Assessment Method</i>
ELECTRE	<i>Élimination Et Choix Traduisant la Réalité</i>
LEED	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
LiderA	Liderar pelo Ambiente
PROMETHEE	<i>Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations</i>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	13
1.1	OBJETIVOS	15
1.1.1	Objetivo geral	15
1.1.2	Objetivos Específicos	15
1.2	JUSTIFICATIVA	15
<b>2</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	17
2.1	MÉTODO RETICULAR DE CONCRETO ARMADO	17
2.1.1	Fôrmas de Madeira	20
2.1.2	Fôrmas Mistas	23
2.2	SUSTENTABILIDADE	29
2.3	SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL	30
2.4	MÉTODOS DE TOMADA DE DECISÃO	36
2.4.1	<i>Analytic Hierarchy Process (AHP)</i>	38
2.5	INDICADORES DE DESEMPENHO	43
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	45
3.1	DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS	45
3.2	COLETA DE DADOS	49
3.3	APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP	50
<b>4</b>	<b>APLICAÇÃO E RESULTADOS</b>	51
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	62



## 1 INTRODUÇÃO

Conforme a ONU (2021), desenvolvimento sustentável é aquele “capaz de suprir as necessidades da geração atual, garantindo a capacidade de atender as necessidades das futuras gerações. Sustentabilidade consiste no equilíbrio entre diversos fatores, para que se garanta a preservação e/ou restauração do meio-ambiente”.

Mais tarde, ainda declarou que o desenvolvimento sustentável se baseia em três dimensões: desenvolvimento social, desenvolvimento econômico e proteção ambiental. Cada uma destas “categorias” defende a sustentabilidade por meio de critérios, os quais vêm sendo também explorados pela indústria da construção civil (ICC) (ONU, 2021).

A construção civil está entre os principais pilares econômicos do Brasil. Em 2019, o negócio era responsável por 6,7 milhões de postos de trabalho. Ou seja, uma a cada 14 pessoas empregadas trabalhava na construção civil (DEGANI, 2020). Segundo a CBIC (2020) a construção civil foi o segmento que apresentou maior crescimento no PIB em 2019, expandindo em 4,4%, e está entre os seis principais componentes do PIB brasileiro. Estes dados deixam claro o papel social que o negócio exerce no país.

Em contrapartida, no cenário nacional, os RCC (Resíduos da Construção Civil) têm sido coletados no montante total de 14.557.939,22 toneladas ao ano. Tal quantia representa mais da metade do volume de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) do país. Desta forma, a construção civil atua como vilã quando o assunto é responsabilidade ambiental. Além disso, estes descartes também geram impactos sociais, pois muitas vezes os resíduos são descartados de forma inadequada, prejudicando o saneamento das cidades e reduzindo a qualidade de vida do local (IPEA, 2012).

Outra questão da ICC está relacionado à dimensão econômica. Devido ao fato de instituições e empresas não investirem em inovações e tecnologias no mercado, a maioria dos processos são executados da mesma maneira há 20 anos. Conforme Nobels (2019), estrategista da McKinsey Brasil: “A produtividade no setor cresceu só 1% nos últimos 20 anos”.

Nobels (2019) ainda revela que o setor pode melhorar sua produtividade em 50% se investir em tecnologia, devido ao fato de que este feito otimizaria os processos produtivos. Conforme Lunardelli (2020) “historicamente, a construção civil é um dos setores menos produtivos e inovadores da indústria, ficando à frente somente do setor de caça e pesca no que diz respeito à digitalização, por exemplo.”

As consequências deste atraso na busca por inovações e no desenvolvimento de novas tecnologias são significativas. Processos de obra desatualizados resultam em custos mais elevados para o orçamento, maior tempo para a realização das atividades e consequentes cronogramas atrasados, maior desperdício de materiais, maiores riscos com acidentes de trabalho e profissionais menos desenvolvidos e treinados.

Tal atraso também pode ser verificado em uma das fases mais importantes da obra: a estrutura, a qual é objeto de estudo deste trabalho. A superestrutura – como também é conhecida – é composta pelo conjunto de vigas, pilares e lajes, as quais são responsáveis por sustentar e resistir às cargas da edificação. Esta é uma das etapas que norteiam uma construção e sua importância deve-se tanto ao acabamento e resistência da edificação, quanto ao seu custo (SOUZA, 1996).

Mesmo com os diversos sistemas de produção já desenvolvidos pela engenharia, o sistema mais usual de produção de estruturas no Brasil ainda é o de fôrmas para concreto armado, sendo a madeira o material mais utilizado para o desenvolvimento destas. Melhado (1998) já considerava que tais fôrmas podem chegar a representar cerca de 10% do valor total da obra (estrutura 20% da obra, e fôrmas 50% da estrutura).

Segundo análise de um cronograma de obra de um edifício de médio alto padrão em Curitiba – PR, na região do Ecoville, esta etapa corresponde à cerca de 25% do valor total do custo final da edificação, sendo superior à etapa de fundação, por exemplo, a qual pode corresponder de 3% a 10% do total. Dessa forma, é possível observar a importância que um bom desenvolvimento desta etapa apresentará no valor final da obra (GRILLO, 2021).

Neste cenário, com o objetivo de analisar tal processo, o presente trabalho irá comparar diferentes sistemas de produção de pilares de concreto armado – por meio do método de análise hierárquica (AHP) -, de modo a apresentar a sistemática que incorpore melhor os critérios de sustentabilidade escolhidos. Ou seja: como escolher

o melhor sistema de fôrmas ao adicionar critérios de sustentabilidade aos critérios convencionais e quais são os melhores critérios de avaliação para esta decisão?

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é comparar sistemas de fôrmas para pilares em concreto armado utilizando o Método de Análise Hierárquica (AHP) para tomada de decisão incluindo critérios de sustentabilidade.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Definir os critérios de sustentabilidade para serem somados aos convencionais para a tomada de decisão;
- Identificar os possíveis métodos para desenvolver o Método de Análise Hierárquica para os critérios escolhidos;
- Aplicar um método para tomada de decisão escolhendo aquele que se mostrar sustentável.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

O setor da construção civil, apesar de estar em constante desenvolvimento e crescimento, ainda possui pontos que necessitam de maiores estudos, melhorias e, principalmente, aplicabilidade destes.

Diversos métodos já foram criados pela engenharia para a execução desta fase: concreto armado para vigas e pilares, paredes de concreto, alvenaria estrutural, wood frame, steel frame, entre outros. A sua escolha geralmente gira em torno do fator custo. Porém, entende-se hoje, que não somente o custo em si do material deve ser analisado como fator de decisão, mas existem diversos outros aspectos que devem ser estudados e analisados.

Nesta pesquisa será analisado o método construtivo estrutural reticular de concreto armado, pois notou-se que ainda existe uma carência de estudos em relação aos diferentes sistemas de fôrmas, em específico de pilares, voltados à sustentabilidade. No caso das fôrmas, o material com que são realizadas é um fator decisório.

De acordo com Melhado (1998), apesar de ser um elemento transitório e que não permanece na edificação, as fôrmas possuem uma significativa representação no orçamento final da obra, portanto também merecem estudos para seu melhor aproveitamento e redução de custos.

O estudo da comparação da utilização de fôrmas para concreto fundamentado nas três dimensões da sustentabilidade será de valia para ambas as partes envolvidas nesta pesquisa (construtoras e pesquisadoras), de modo a ser possível a aplicação de processos estudados na graduação e na vida profissional.

Para as construtoras, tanto as de médio e alto padrão, quanto as de habitações populares, este estudo pode trazer uma diminuição nos custos das obras, no seu tempo de realização, na redução de acidentes de trabalho e no desperdício de materiais. Desta maneira pode-se dizer que a empresa se torna mais sustentável, o que potencialmente transmitirá uma mensagem positiva da empresa aos clientes externos e internos.

Espera-se que, entendendo as diferentes possibilidades de decisão, baseadas na aplicação do método de tomada de decisão (AHP), esta seja passível de reaplicação em qualquer outra situação durante a jornada profissional.

Para a área de conhecimento, o estudo busca trazer a alternativa que resultará em um processo mais sustentável e com menor impacto negativo à sociedade possível.

## 2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Para basear a pesquisa, buscou-se referenciais bibliográficos sobre três principais tópicos deste estudo: o método executivo reticular para a elaboração de estruturas de concreto armado, sustentabilidade e métodos de tomada de decisão.

### 2.1 MÉTODO RETICULAR DE CONCRETO ARMADO

O método reticular de concreto armado é realizado a partir de estruturas de concreto moldado por fôrmas, as quais formam estruturas reticuladas de concreto, que através de lajes, pilares e vigas transmitem esforços para as fundações (DE BARROS e MELHADO, 1998).

O concreto, além de ser um material durável, com boa resistência à compressão e ao fogo, também é um material barato e facilmente disponível no canteiro além de apresentar ótima durabilidade (SALASSE, 2012; MEHTA e MONTEIRO, 1994).

Na Figura 1 é ilustrado um sistema reticular em concreto armado com vedação de alvenaria em tijolos cerâmicos.

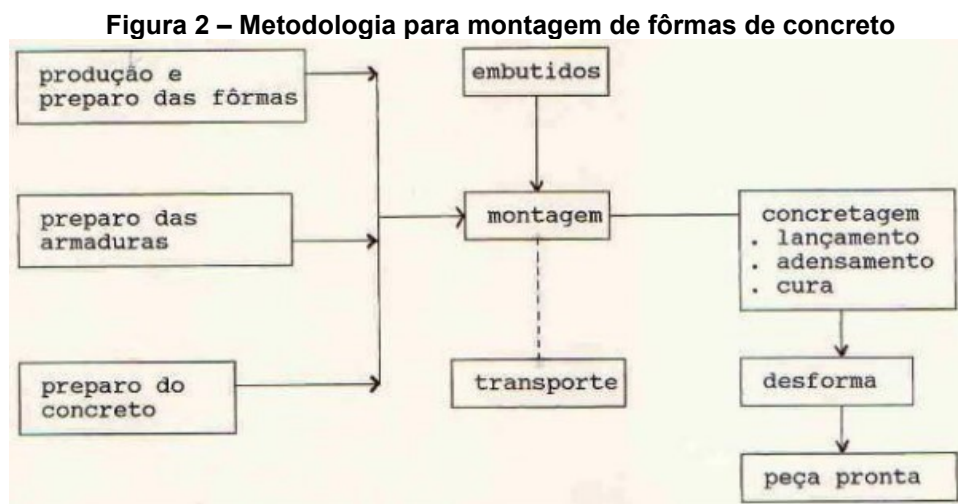
**Figura 1 - Edificação utilizando método reticular de concreto armado**



Fonte: Fepex (2021)

O concreto utilizado dentro destas fôrmas recebe o nome de concreto armado. Segundo Carvalho (2009), é a associação do concreto com a armadura de aço, que se aderem à superfície um do outro, e trabalham juntos para os esforços solicitados.

Esse sistema de construção da estrutura segue um padrão até hoje, proposto por De Barros e Melhado (1998), conforme se pode analisar na Figura 2.



Fonte: De Barros e Melhado (1998)

De acordo com a ABNT (2009), na NBR 15696:2009, as fôrmas são “estruturas provisórias que servem para moldar o concreto fresco, resistindo a todas as ações provenientes das cargas variáveis resultantes das pressões do lançamento do concreto fresco, até que o concreto se torne autoportante”. Esta norma é a que rege a correta execução de fôrmas e sistemas de ancoragem.

Dentre as principais funções das fôrmas utilizadas para a formação de pilares e vigas estão, segundo De Barros e Melhado (1998):

- Moldar o concreto;
- Sustentar o concreto fresco até que possua resistência para se sustentar;
- Proteger o concreto contra choques mecânicos;
- Limitar a perda de água do concreto;
- “Servir de estrutura provisória para as atividades de armação e concretagem, devendo resistir às cargas provenientes do seu peso próprio, além das de serviço, tais como pessoas, equipamentos e materiais”;
- Proporcionar textura à superfície do concreto.

Além destas funções, os materiais destas fôrmas precisam atender a certas especificações, sendo elas (IGLESIA, 2006):

- Resistência à ruptura;
- Resistência à deformação;
- Estanqueidade (garantir com que ocorra o mínimo de perda de água durante a concretagem);
- Geometrias compatíveis com projeto estrutural (alterações nesse quesito poderão levar a alteração da resistência da estrutura);
- Textura superficial compatível com as exigidas no projeto;
- Estabilidade dimensional (não permitir que ocorra alteração nas dimensões durante o lançamento e processo de cura);
- Possibilitar o correto posicionamento da armadura;
- Baixa aderência ao concreto;
- Facilidade para o correto lançamento e adensamento do concreto;
- Não alterar as características do concreto;
- Apresentar rigidez e estabilidade (de forma que não coloque em risco a mão de obra);
- Economia.

Para Iglesia (2006), além destas necessidades citadas acima, para se construir uma fôrma, devem existir quatro elementos principais: o molde, a estrutura para esse molde (responsável por fornecer sustentação), escoramentos ou cimbramentos - que darão apoio à estrutura - e acessórios, os quais variam de acordo com o tipo de material utilizado. Segundo Nazar (2007), o material utilizado com mais frequência é a madeira (de tábua ou compensado). Todavia, existem diversos materiais que podem constituir essas fôrmas.

Em um estudo comparativo, realizado na cidade de Toledo, PR, entre o sistema de alvenaria estrutural e o reticulado de concreto armado, constatou-se que o primeiro sistema apresentou – quando analisados gastos com vigas - uma economia de 76% no orçamento final da obra, e de 65% quando analisados pilares (SALASSE, 2021).

Todavia, esse método construtivo apresenta diversas vantagens, dentre elas, a versatilidade que a construção adquire quando feita com pilares e vigas de concreto (PIANOSKI, 2021).

Em um edifício de alto padrão, por exemplo, podem ser realizadas modificações nas divisórias internas sem que seja comprometida a estrutura da edificação. Tal situação seria diferente em um edifício construído com paredes inteiras de concreto ou alvenaria estrutural.

### 2.1.1 Fôrmas de Madeira

Segundo o Manual básico de indicadores da construção civil (2017), os materiais para a utilização de fôrmas de madeira de pilares podem ser em compensado plastificado ou resinado, com uma espessura de 18 mm, ou em madeira serrada, tendo uma espessura de 25 mm.

Segundo Alves (2015), seu custo reduzido em relação a outros materiais é um fator de vantagem que faz com que esse material geralmente seja escolhido. Outra vantagem que esse método apresenta, revelado por Grillo (2021), é a versatilidade em que podem ser construídos diferentes tipos de edificações, com tamanhos de pilares, vigas e lajes diferentes.

Alguns outros pontos, porém, também devem ser observados quando se trata deste material, como observou Busanello (2019), em um estudo comparativo de fôrmas. Dentre os itens analisados percebeu-se:

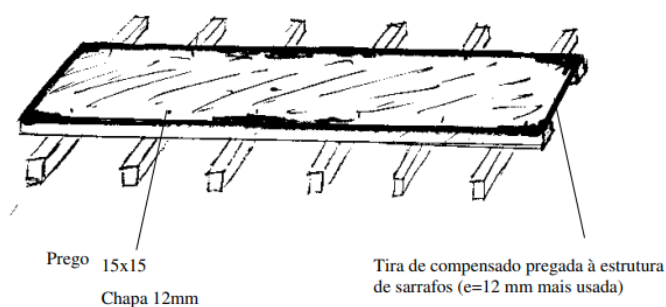
- Trabalho operacional em sua execução;
- Uma qualidade indesejada em alguns pontos devido a abertura da fôrma (e que levaram a um retrabalho);
- Geração de resíduo de madeira;
- Perda de material;
- Retrabalhos devido a erros de escala;
- Entre outros.

Segundo a ABNT NBR 15696 (2009), toda madeira utilizada na produção das fôrmas e cimbramentos devem ser oriundas de reflorestamento. Não havendo esta possibilidade, deve-se ter como fonte de matéria prima, madeiras oriundas de manejos controlados por órgãos competentes. Em outro ponto, cita que todo resíduo de madeira proveniente da estrutura constituinte da fôrma deve ter uma destinação correta. Portanto, além da questão produtiva, também deve-se analisar e perceber que já existe uma preocupação com a utilização deste – finito – material.

Na Figura 3 está representado um detalhamento de como é estruturado a face de um pilar utilizado na fôrma para o concreto.



**Figura 3 - Detalhe de chapa ou face de um pilar da fôrma**



**Fonte: Calil JR (2001)**

Na Figura 4, representa-se como é a estrutura final desta fôrma para pilar. Nesta estrutura pode-se identificar as chapas de compensado resinado – para o caso em questão com 18 mm de espessura -, os estribos laterais em madeira que permitem que o concreto não force as laterais da fôrma, as agulhas, que também auxiliam no reforço desta fôrma, e por fim os pregos, como mostra a Figura 03, os quais também fazem parte desta estrutura.

**Figura 4 - esquema de estrutura de fôrma para pilar**



**Fonte: Autoras (2021)**

Segundo dados do Manual Básico de Indicadores de produtividade da construção Civil (2017), realizou-se um estudo para entender a mão de obra necessária para a construção de uma fôrma para pilares e os materiais e equipamentos utilizados para a sua execução, como é mostrado na Tabela 1. Materiais como martelo, régua, furadeira também são utilizados, segundo Grillo (2021), porém vale ressaltar que tais equipamentos possuem uma grande durabilidade e também são utilizados para outros fins dentro da obra.

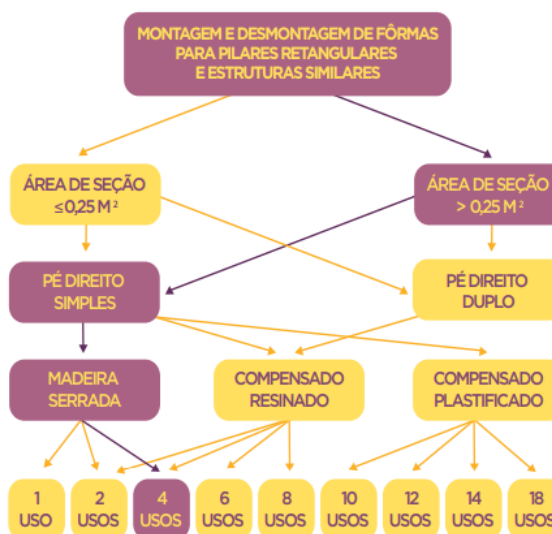
**Tabela 1 - Mão de obra e materiais para a fabricação de pilares**

	Ajudante	Carpinteiro
	h/m <sup>2</sup>	h/m <sup>2</sup>
Fabricação de molde de fôrma para pilares, em chapa de madeira compensada resinada ou plastificada, E=18mm	0,276	1,656

Fonte: Adaptado. Manual da Construção Civil (2017)

Como já mencionado, este material também pode ser reutilizado após sua desfôrma, em outros pilares que possuam medidas iguais, ou pode ser modificado para que atenda as medidas necessárias. De acordo com o Manual Básico de Indicadores de produtividade, esses valores podem variar de acordo com o material utilizado na fôrmas e seu tamanho, como mostra a Figura 5.

**Figura 5 - Numero de reuso de uma fôrma para pilar**



Fonte: Manual da Construção Civil (2021)

Devido a essa reutilização, também deve-se contar o tempo de mão de obra para a montagem e desmontagem destas fôrmas, além dos materiais utilizados neste processo, conforme mostrado na Tabela 2.

**Tabela 2 - Mão de obra e materiais para a montagem e desforma de pilares**

	Ajudante	Carpinteiro
	h/m <sup>2</sup>	h/m <sup>2</sup>
Montagem e desmontagem de fôrma de pilares retangulares com área média das seções menor que 0,25 m <sup>2</sup> , pé-direito simples, em chapa de madeira compensada resinada, 4 utilizações	0,208	1,137

**Fonte: Adaptado. Manual da Construção Civil (2021)**

De acordo com dados da Sitracon (2021) o salário base para um carpinteiro, que se encontra na categoria de profissional é de R\$2668,86 reais mensais, já para o servente é de R\$2026,46 reais mensais, como mostrado na Tabela 3.

**Tabela 3 - Base salarial Sintracon 2021**

Piso a partir de junho de 2021	Por hora (R\$)	Mês de 30 dias (R\$)	Vale compras (mensal) (R\$)	Valor total (R\$)
Servente	7,02	1.544,40	482,06	2.026,46
Meio profissional	7,61	1.674,20	482,06	2.156,26
Profissional	9,94	2.186,80	482,06	2.668,86
Contra mestre	14,04	3.088,80	482,06	3.570,86
Mestre	19,12	4.206,40	482,06	4.688,46

**Fonte: Adaptado. Sintracon (2021)**

### 2.1.2 Fôrmas Mistas

Segundo Fajersztajn (1987), as fôrmas mistas começaram a ser difundidas no Brasil por volta da década de 70 por meio da construção de casas padronizadas, função em que até hoje é muito utilizada. De acordo com Nazar (2007), estas fôrmas também são utilizadas para formação de vigas, pilares, lajes ou cortinas.

De acordo com Alvez (2015), sua escolha se dá principalmente quando se tem por critério o tempo de execução, no cronograma da obra, ou no caso de obras especiais que precisam de melhor acabamento. Conforme cita Nakamura (2013), esse

sistema de fôrmas apresenta um bom acabamento, pois não necessita de furação no molde. Possui também maior facilidade de transporte, pois seu peso é baixo em relação a outros sistemas.

As fôrmas mistas podem ser constituídas de materiais diferentes, como o aço, alumínio ou outras ligas metálicas. No Brasil, as empresas SH Fôrmas e Orguel possuem diversos modelos de painéis com sistemas modulares para fôrmas metálicas, dentre estes, existe um sistema para confecção de pilares, que posteriormente receberão concreto armado. Os materiais utilizados são painéis de chassis de aço galvanizado, conformado com um perfil especial forrado com compensado plastificado de 15mm, essa junção caracteriza então uma fôrma mista. (NAZAR, 2007; SH, 2021).

Para a empresa Orguel, existem dois modelos de fôrmas metálicas disponíveis – Leve ou Ideal – o que as difere é a maneira de travamento entre elas e sua capacidade de carga máxima, porém ambas são constituídas de painéis metálicos estruturados em aço, e uma chapa de painel compensado plastificado de 18mm em contato com concreto (ORGUEL, 2021). Os tamanhos disponíveis e peso de cada material estão descritos na Tabela 4 – sendo A os valores correspondentes à altura da peça e B a largura, para fôrmas do tipo Ideal.

**Tabela 4 - Tamanhos e modelos para fôrmas metálicas (Ideal)**

Código	Descrição	Dimensões Ax B (mm)	Peso (kg)
CI-150	Fôrma Ideal 150	2450 x 150	37,95
PI-250	Fôrma Ideal 250	2450 x 250	43,86
PI-300	Fôrma Ideal 300	2450 x 300	45,76
MC-40231	Fôrma Ideal 350	2450 x 350	46,00
PI-400	Fôrma Ideal 400	2450 x 400	48,14
PI-450	Fôrma Ideal 450	2450 x 450	55,88
PI-500	Fôrma Ideal 500	2450 x 500	58,16
PI-550	Fôrma Ideal 550	2450 x 550	63,88
MC-40232	Fôrma Ideal 600	2450 x 600	69,79
CFI-150	Fôrma Ideal 150	1200 x 150	16,12
PFI-250	Fôrma Ideal 250	1200 x 250	20,36
PFI-300	Fôrma Ideal 300	1200 x 300	21,94
PFI-350	Fôrma Ideal 350	1200 x 350	24,66
PFI-400	Fôrma Ideal 400	1200 x 400	25,85
PFI-450	Fôrma Ideal 450	1200 x 450	27,54
PFI-500	Fôrma Ideal 500	1200 x 500	29,64
PFI-550	Fôrma Ideal 550	1200 x 550	30,60
PFI-600	Fôrma Ideal 600	1200 x 600	31,82

**Fonte: Adaptado. Manual técnico Ideal Orguel (2021)**

Para o presente estudo escolheu-se trabalhar com fôrmas do tipo Ideal, pois atende a capacidade de carga, para esse sistema a capacidade máxima é de 60 kN/m<sup>2</sup>. Sua disposição final está demonstrada na Figura 6.

**Figura 6 - Disposição de fôrma para pilar final**



**Fonte: manual técnico Ideal Orguel (2021)**

Além das chapas de compensado e os perfis de aço, para esse tipo de fôrma também são necessários alguns acessórios: conectores, os quais pesam 3,5kg e são utilizados nas junções dos painéis mostrado na Figura 7 e Figura 8.

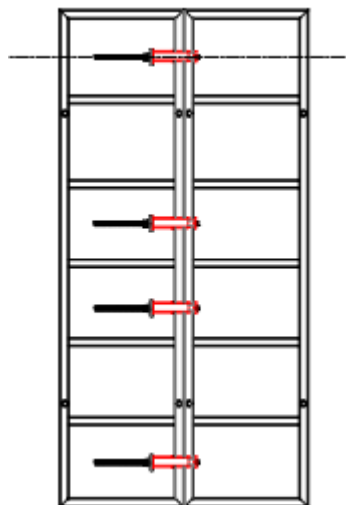
**Figura 7 - conector para fôrmas metálicas.**



**Fonte: manual técnico Ideal Orguel (2021)**

Esta representado na Figura 8 um esquema de conectores já instalados, disponibilizado pelo manual técnico de fôrmas tipo Ideal da Orguel (2021).

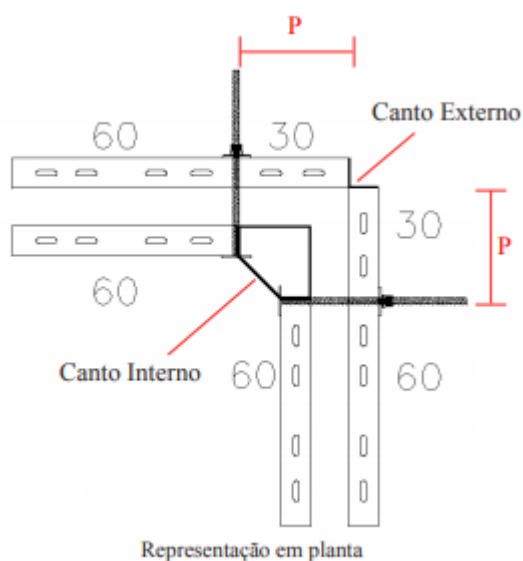
**Figura 8 - Esquema com conectores instalados**



Fonte: manual técnico Ideal Orguel (2021)

São empregados também cantoneiras internas e externas para cantos, como mostrado na Figura 9.

**Figura 9 - Representação em planta de onde deve ocorrer encaixe das cantoneiras.**



Fonte: manual técnico Ideal Orguel (2021)

Os tamanhos disponíveis e o peso de cada uma estão demonstrados na Tabela 5.

**Tabela 5 - Modelos e peso de cantoneiras**

Código	Descrição	Peso (kg)
LF-0150	Canto Externo	07,00
CL-150	Canto Externo 60	03,75
LF-1139	Canto Externo Dobrável	08,52
LF-0160	Canto Interno 15	22,00
CL-160	Canto Interno 15x60	11,00
LF-0170	Canto Interno 20	31,00
LF-0420	Canto Interno 20x60	17,00

**Fonte: Adaptado. Manual técnico Ideal Orguel (2021)**

Ademais, são utilizados outros acessórios como escoras metálicas, barras de ancoragem com cone e parafusos, barras de ancoragem 5/8", perfis metálicos VL5 - utilizado para reforçar o alinhamento horizontal e vertical da fôrma -, sendo todos estes itens também utilizados em fôrmas de madeira para o mesmo fim. (ORGUEL, 2021)

Segundo Silva (2021), a montagem deste sistema não exige um conhecimento técnico avançado, assim indica-se a realização deste por qualquer funcionário da obra que possa realizar um rápido treinamento, como um servente. Este treinamento é realizado gratuitamente (até uma distância de 120km do local).

Por fim, utiliza-se a locação quando se utilizam estes equipamentos, os valores de frete deverão ser adicionados nos valores demonstrados na Tabela 6.

**Tabela 6 - Descrição de valores para locação mensal de fôrmas**

Descrição	Quantidade	Valor total/mensal
Fôrma Leve	10 m <sup>2</sup>	R\$ 429,00
Fôrma Ideal	10 m <sup>2</sup>	R\$ 443,13

**Fonte: Adaptado. Orçamento Orguel (2021)**

O valor que é necessário incluir a este será o de descarregamento do material, conforme descrito na Tabela 7, de acordo com o tamanho da carga.

**Tabela 7 - Valor de descarregamento de material**

Tipo de caminhão	Valor de carga	Valor de descarga
Veículos menores que toco	R\$ 100,00	R\$ 150,00
Toco	R\$ 200,00	R\$ 250,00
Truck	R\$ 250,00	R\$ 300,00
Carreta	R\$ 350,00	R\$ 400,00

**Fonte: Adaptado. Orçamento Orguel (2021)**



Também é importante observar que, devido a esse sistema funcionar como locação, a geração de resíduos para a construtora é zero, pois não é necessário realizar o descarte próprio deste material em obra (ORGUEL, 2021).

## 2.2 SUSTENTABILIDADE

Segundo Sartori, Latrônico e Campos (2014), sustentabilidade se configura como a “capacidade de um sistema humano, natural ou misto resistir ou se adaptar à mudança endógena ou exógena por tempo indeterminado”. Basicamente, a sustentabilidade consiste no equilíbrio entre diversos fatores, para que se garanta a restauração e/ou preservação de ecossistemas, biodiversidade, recursos e serviços naturais, saúde e bem-estar, direitos fundamentais, patrimônio cultural e capital econômico (DA COSTA, 2020).

Da conferência convocada em 1972 (Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente Humano), surgiram 19 princípios de Manifesto Ambiental. A partir daí, o tema, que já vinha tomando maiores proporções, tomou força em âmbito global. “Defender e melhorar o meio ambiente para as atuais e futuras gerações se tornou uma meta fundamental para a humanidade.” (ONU, 2021).

Baseado no conceito, o Relatório Brundtland configurou desenvolvimento sustentável como “um processo de mudança no qual a exploração dos recursos, o direcionamento dos investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional estão em harmonia e reforçam o atual e futuro potencial para satisfazer as aspirações e necessidades humanas.” (ONU, 2021).

Em 1997, Elkington propôs o Triple Bottom Line, ou seja, o tripé da sustentabilidade, o qual defende que a sustentabilidade está na interseção entre as dimensões ambiental, social e econômica, como mostrado na Figura 10.

**Figura 10 – Dimensões da Sustentabilidade**

**Fonte: Rodrigues (2016)**

Mesmo com grandes avanços relacionados à concepção e disseminação do tema, o conceito ainda se mostra em construção e dinâmico. Ademais, tal representação possui maior enfoque no viés ambiental, deixando as dimensões econômica e social em segundo plano (TECHIO et al., 2016).

### 2.3 SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL

De forma análoga, a ICC tem o desafio de buscar soluções que atendam aos princípios básicos da sustentabilidade, por meio de redução e otimização do consumo de materiais e energia, redução dos resíduos gerados, redução do consumo de água, aproveitamento das condições naturais locais, preservação do ambiente natural e melhoria da qualidade do ambiente construído (SINDUSCON RS, 2016).

Gradativamente, o setor vem buscando se aperfeiçoar neste quesito. Foi estabelecida, em 2013, a Norma de Desempenho ABNT NBR 15575/2013, a qual estabelece padrões de desempenho mínimos, que de certa forma podem servir como referência para sustentabilidade. Além disso, certificações e selos de sustentabilidade estão começando a ser visados pelas construtoras, com o objetivo de agregar valor, competitividade e sustentabilidade aos seus produtos (OTOBO et al., 2016).

Em 2018, o Brasil assumiu a quarta posição no ranking divulgado pela US Green Building Council (USGBC) de países e regiões fora dos Estados Unidos com

maior área certificada LEED. O Leadership in Energy and Environmental Design é o programa de construções sustentáveis mais utilizado no mundo, o qual incentiva a criação de espaços mais saudáveis para as pessoas, minimizando o uso de energia, o uso de água, emissões de carbono e maximizando a economia de recursos financeiros para os clientes (GREEN BUILDING COUNCIL, 2018).

Além do selo LEED, existem diversos outros métodos de avaliação da sustentabilidade, como o Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM), Haute Qualité Environnementale (HQE), Building Environmental Performance Assessment Criteria (BEPAC), Alta Qualidade Ambiental (AQUA), Liderar pelo Ambiente (LiderA), entre outros (CALIXTO, 2016).

De acordo com as certificações citadas, os parâmetros avaliados em cada um destes sistemas são: energia operacional e emissão de CO<sub>2</sub>, saúde e bem-estar nos ambientes internos e externos, otimização do desempenho energético, energia sustentável, localização sustentável – interação da comunidade, acesso à transportes públicos, estacionamentos de carros e bicicletas, entre outros -, uso correto do solo, recursos e materiais, entre outros (CALIXTO, 2016).

Lanham (2004) cita como princípios fundamentais para uma construção sustentável a minimização do consumo de água e energia, minimização da ocupação do solo, utilização de materiais eco eficientes e não tóxicos, durabilidade da construção e adequação do projeto, de forma que este aproveite a orientação solar, iluminação e ventilação naturais, o fator de forma e massa térmica.

Teodoro (2011) aponta algumas dimensões para uma construção sustentável, como reciclagem de resíduos, economia de água e energia, planejamento de manutenção, segurança e higiene, redução dos custos, redução na produção de resíduos, entre outros.

Da Costa (2020) apontou diversos requisitos que devem ser minimizados ou maximizados, portanto, perseguidos para tornar uma construção mais sustentável, como se pode ver resumido na Figura 11:

**Figura 11 - Requisitos para uma construção sustentável**

MINIMIZAR ▼	◆ RESTAURAR e/ou PRESERVAR ◆	▲ MAXIMIZAR
Terra – uso do solo		Segurança do usuário
Matéria prima		Salubridade
Materiais processados	Ecosistemas	Conforto
Água	Biodiversidade	Funcionalidade
Energia	Recursos e serviços naturais	Acessibilidade
Desperdício	Saúde e bem-estar	Adaptabilidade
Resíduos	Direitos fundamentais	Mobilidade
Sobrecargas na infraestrutura	Patrimônio cultural	Infraestrutura e serviços
Emissões ao ar, água e solo	Capital econômico	Manutenibilidade
Conflitos de interesses		Durabilidade
Violações de direitos e acordos		Reciclagem
Acidentes e Agravos		Equidade social
Custos		Prosperidade econômica

Fonte: Da Costa (2020)

Segundo a GBC (2021), são avaliadas oito categorias para a certificação LEED: processo integrado, localização e transporte, terrenos sustentáveis, eficiência hídrica, energia e atmosfera, materiais e recursos, qualidade do ambiente interno, inovação e prioridade regional.

### 2.3.1 Dimensão econômica

A dimensão econômica por si só apresenta seu foco voltado para o lucro. Quando sobreposta com a dimensão social, a economia sustentável se apresenta como equidade e distribuição justa de riquezas. Já quando sobreposta com a dimensão ambiental, a economia sustentável busca uma eco-eficiência, ou seja, produzir continuamente bens e serviços, de forma a minimizar os custos, e direcioná-los às práticas, processos e materiais mais sustentáveis desenvolvidos no mercado (ELKINGTON, 2001; PÓVOAS, 2015).

Para Freitas (2012), a sustentabilidade tem o potencial de criar uma nova economia: reestruturar processos e comportamentos, desenvolver maiores estudos voltados para planejamentos a longo prazo e para um sistema competente de incentivos. Existe uma relação essencial entre economia e sustentabilidade, a qual não deve ser ignorada.

“A dimensão econômica está preocupada com o desenvolvimento de uma economia que tenha por finalidade gerar uma melhor qualidade de vida para as

peças, com padrões que contenham o menor impacto ambiental possível. ” (GARCIA, 2016).

Dentre todos os processos que norteiam uma obra, nota-se que a etapa de estrutura – estudada neste projeto - apresenta uma significativa relevância tanto no orçamento da edificação, quanto no cronograma.

Segundo Nazar (2007), em edifícios de múltiplos andares destinados a comércio ou residência, o custo do emprego de fôrmas pode variar entre 25% até 30% do total da estrutura. Destes 30%, de acordo com Maranhão (2000), 50% é apenas destinado a fôrmas e 60% da mão de obra total utilizada nessa fase também é voltada para a confecção destas. Esses valores podem variar de edificação para edificação, tais resultados foram baseados em estudos com fôrmas de madeira.

O custo da fôrma não está atrelado somente ao custo do material de que será feita, mas também ao tempo de mão de obra, aos resíduos que serão gerados e irão demandar um descarte correto, e também ao seu acabamento, que irá influenciar em outras etapas da obra.

Parkesian (2012), cita que com a redução de erros na geometria da obra, conseqüentemente serão reduzidos custos, pois as espessuras dos revestimentos serão minimizadas. Ou seja, é importante que a fôrma forneça ao concreto um bom acabamento em sua superfície, para que não ocorram variações em relação ao prumo do alinhamento, e que levem a utilização de mais argamassa, e uma conseqüente diminuição na produtividade de aplicação, como menciona Salasse (2012).

### 2.3.2 Dimensão social

A dimensão social da Sustentabilidade representa o processo de aproximação e relacionamento interorganizacional e interpessoal. Esta traz consigo uma carga cultural-histórica que molda a forma como organizações entregam seus serviços/produtos. A frente social não se refere apenas às interações entre clientes e organizações, mas também está associada à ética no trabalho, garantia de segurança, diversidade no local de trabalho, direitos humanos, trabalhos com as comunidades locais, entre outros (ALVES E SILVA, 2017).

Com o intuito de padronizar internacionalmente, garantir qualidade, credibilidade e aplicabilidade aos relatórios de Sustentabilidade publicados pelas

empresas, além de incentivar o compartilhamento voluntário de tais dados, a Global Reporting Initiative (GRI) – organização sem fins lucrativos fundada em 1997 - desenvolveu diretrizes para o relatório GRI.

A GRI apontou quatro subcategorias sociais a serem analisadas nos relatórios: Políticas trabalhistas e trabalho descente; Direitos humanos; Sociedade e Responsabilidade pelo produto. Dentro de tais subcategorias, ainda existem os aspectos que são abordados, como diversidade e igualdade de oportunidades e remuneração, treinamento e educação, não discriminação, trabalho infantil ou escravo, comunidades locais, combate à corrupção, saúde e segurança dos clientes e rotulagem de produtos. Todas as quatro subcategorias abordam avaliação de fornecedores (GRI, 2015).

Segundo Silva e Nascimento (2015), em alguns casos, como por exemplo na cadeia de suprimentos, o enfoque na questão social deveria ser considerado como estratégia principal de sustentabilidade, para que, em um segundo momento, as estratégias ambientais se tornem possíveis.

Apesar de ser reconhecida desde 1997 por Elkington como uma dimensão da Sustentabilidade, o aspecto social é significativamente menos abordado que o ambiental em referenciais bibliográficos. Segundo Elkington (2001), as empresas, as quais lidam com relações sociais e de trabalho há maior tempo, ainda dão menor atenção à esta dimensão, comparada à ambiental.

### 2.3.3 Dimensão ambiental

Aproximadamente 35% dos recursos naturais são consumidos pelo setor de construção civil (GBC, 2015). Três bilhões de toneladas de matéria-prima são destinados à produção de materiais da construção civil por ano, no mundo. Tal quantia corresponde a cerca de 50% do fluxo total na economia global (EKINCIIOGLU et al., 2013).

Além dos recursos naturais, a indústria ainda consome cerca de 9,4 ton/hab.ano de materiais de construção (DE CONTO et al., 2016). Estima-se também que mais de 50% dos Resíduos Sólidos produzidos no Brasil sejam originados na construção civil (IBGE, 2010).

Calixto (2016) afirma que 30% das emissões globais de gases de efeito estufa (GEE), 40% do consumo anual mundial de energia, 12% do consumo anual mundial de água doce e 40% da geração mundial de resíduos sólidos são de responsabilidade única da construção civil. O autor ainda lembra que, devido ao tempo útil das construções, o maior impacto se dá pela emissão dos GEE e pelo consumo de energia.

Diante à esta realidade, na década de 90, diversas frentes de estudos e pesquisas relacionadas à Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) dos materiais foram surgindo e, em 1997, a Organização Internacional para Padronização (ISO) lançou a ISO 14040, Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e Estrutura. No Brasil, a norma é regida pela ABNT, em sua versão NBR ISO 14040:2009, juntamente com a NBR ISO 14044:2009, Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e Orientações (IBICT, 2021).

A avaliação do ciclo de vida de um produto consiste em uma técnica que confere os aspectos ambientais e os impactos deste desde a extração da matéria-prima, transformação de materiais, fabricação, distribuição, utilização, manutenção até sua eliminação ou reciclagem (BUXEL, ESENDURAN e GRIFFIN, 2015). Seu principal objetivo é levantar os aspectos e impactos ambientais, por meio de um levantamento de entradas e saídas pertinentes de um sistema de produto (ABNT, 2009).

Esta análise auxilia na identificação de fases do ciclo de vida do produto que causem maior impacto ambiental, e seus principais benefícios são a possibilidade de enxergar a origem dos problemas causados e proporcionar a melhoria e/ou substituição deste produto ou material por outro – o qual também foi avaliado e apresentou menores impactos (RODRIGUES, 2016).

A ACV é uma investigação complexa e longa, e que consiste em quatro etapas principais: definição do objetivo e do escopo, análise do inventário, avaliação de impactos e interpretação de resultados (ABNT, 2009). Além disso, esta pesquisa pode ser guiada por diferentes métodos, os quais trarão diferentes categorias – de impacto ou de dano - de aspectos e impactos ambientais.

Algumas das categorias de impactos são: uso de terra, uso de água, uso de energia, mudança climática, destruição da camada de ozônio, eutrofização, formação de material particulado. Já as categorias de dano poderiam se apresentar como:

saúde humana, esgotamento de recursos e qualidade do ecossistema (RODRIGUES, 2016).

Existem diversos softwares já desenvolvidos com o intuito de analisar o ciclo de vida de produtos e processos, como por exemplo o OpenLCA, SimaPro e eTool. Ainda sobre o uso de energia, Tavares (2006) relaciona a energia incorporada de alguns materiais da construção em seu artigo, como mostrado na Tabela 8.

**Tabela 8 – Energia incorporada (EI) de alguns materiais da construção civil**

Materiais	EI (MJ/kg)	EI (MJ/m <sup>3</sup> )
Aço – laminado CA50	31,00	243350,00
Alumínio lingote	150,00	405000,00
Alumínio anodizado	277,00	405000,00
Madeira – aparelhada seca forno	4,50	2700,00
Madeira – aparelhada seca ar livre	0,50	300,00
Madeira – laminada colada	7,50	4875,00
Madeira - MDF	9,00	5850,00

**Fonte: Adaptado. Tavares (2006)**

## 2.4 MÉTODOS DE TOMADA DE DECISÃO

Durante os últimos anos, diversos métodos foram criados com o intuito de auxiliar nas tomadas de decisões. Os métodos servem para ajudar o aplicador a encontrar a opção que apresente melhor desempenho, avaliação, de acordo com suas expectativas (MARINS et al., 2009). O uso destas ferramentas permite que a escolha feita não seja baseada apenas na intuição e prática do decisor, mas sim levando em conta todos os critérios relevantes de forma consistente e coerente (SANTOS E CRUZ, 2013).

Os problemas estudados podem ser divididos em duas classes, de acordo com a quantidade de critérios que serão abordados na análise: problemas monocritério – um critério de decisão – e problemas multicritérios – mais de um critério de decisão (LEITE E FREITAS, 2012). Em situações do dia a dia, os chamados

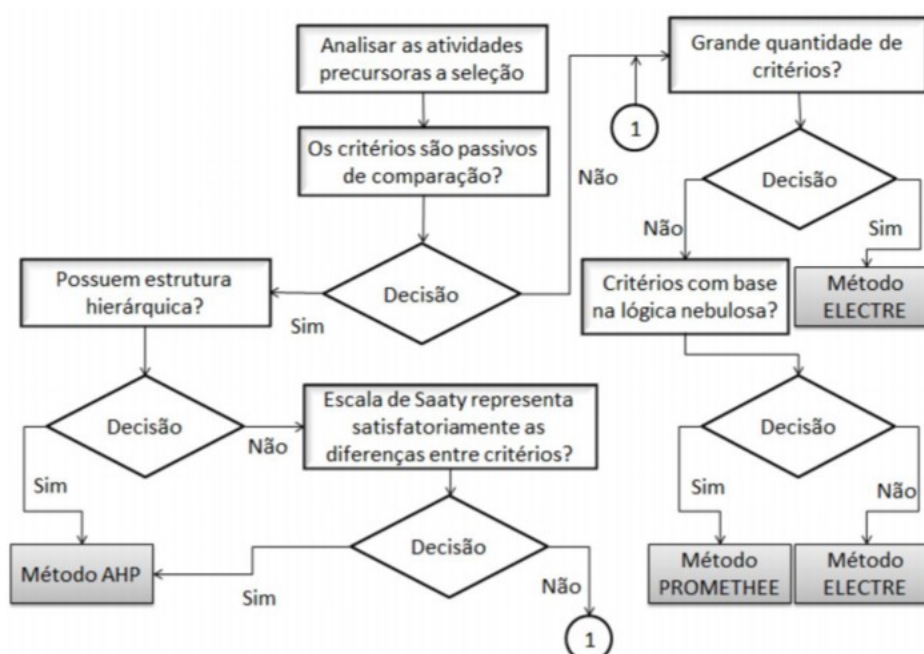


Multiple Criteria Decision Making (MCDM), ou seja, tomadas de decisão de múltiplos critérios, são os mais utilizados.

De acordo com Roy (2013), existem duas correntes de pensamentos provindas dos MCDM: a corrente europeia e a corrente americana. A primeira linha de pensamento apresenta os métodos ELECTRE (Élimination Et Choix Traduisant la Réalité, ou seja, Eliminação e Escolha como Expressão da Realidade) e PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations, ou Método de organização de classificação de preferência para avaliação de enriquecimento), enquanto a segunda linha é representada pelo método Analytic Hierarchy Process (AHP) e o método MACBETH (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique, traduzido para o português como Medindo a atratividade por meio de uma técnica de avaliação baseada em dados categóricos) (LEHNHART, 2016).

Leite e Freitas (2012) elaboraram um fluxograma para auxiliar na eleição do método MCDM mais adequado ao seu estudo. Na Figura 12 é mostrado tal fluxograma, o qual direciona o decisor à três possíveis métodos de tomada de decisão: método AHP, método ELECTRE e método PROMETHEE.

**Figura 12 - Fluxo de decisão para os métodos AHP, ELECTRE e PROMETHEE.**



Fonte: Leite e Freitas (2012).

### 2.4.1 Analytic Hierarchy Process (AHP)

O método de decisão de multicritérios conhecido como Analytic Hierarchy Process (AHP), ou seja, Processo Analítico Hierárquico, é um dos mais utilizados e difundidos no mundo (ARCANJO et al., 2015; SOUSA et al., 2017). O AHP foi desenvolvido pelo matemático Thomas L. Saaty na década de 60 e foi aperfeiçoado por seus colaboradores posteriormente (SAATY, 2008).

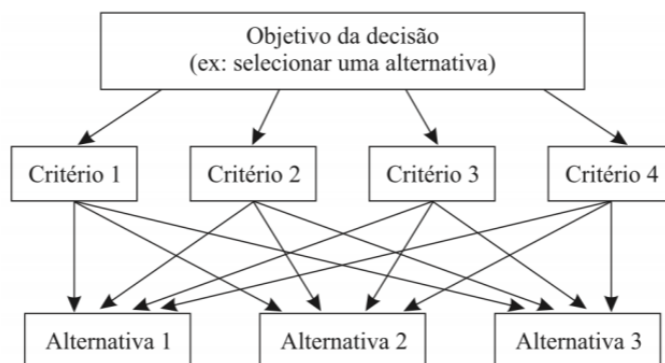
Este método foi elaborado para modelar problemas desestruturados, para que decisões pudessem ser tomadas sem que se conheça a exata importância dos critérios abordados (SAATY, 1980). O AHP é uma teoria de escalonamento das alternativas, através de comparações em pares e de escalas de prioridade e julgamento absoluto, chegando à conclusão de quanto uma alternativa é dominante sobre a outra para determinado critério (SAATY, 2008).

Mesmo que os atributos definidos sejam objetivos, não é possível escapar totalmente da subjetividade do aplicador, tendo vista que os pesos de prioridade são estabelecidos pelo mesmo (SAATY, 2008).

As quatro etapas para a aplicação do AHP de forma organizada e coerente são, de acordo com Saaty (2008):

- a) Definição do problema ou objetivo a ser solucionado/atingido;
- b) Estruturação da hierarquia de decisão: no topo o objetivo da análise decisória, em seguida os critérios que serão levados em conta, os  $n$  subcritérios e ao final as  $n$  alternativas que serão estudadas;
- c) Construção do conjunto de matrizes de comparação em pares;
- d) Utilização da lista de prioridades obtidas no passo (c) para atribuir pesos relativos a todos os critérios imediatamente abaixo na hierarquia, por meio do autovetor. Realizar o mesmo processo para todos os níveis hierárquicos e definir o peso global de cada critério. E, por fim, comparar e escolher a melhor alternativa.

A etapa (b), ou seja, a decomposição do problema em critérios analisáveis e comparáveis de modo independente está representada pela Figura 13. Esta capacidade de conversão de dados empíricos em modelos matemáticos é o principal diferencial do AHP com relação a outras técnicas comparativas, segundo Vargas (2010).

**Figura 13 - Exemplo de hierarquia de critérios.**

Fonte: Kuszowski (2017). Adaptado de Vargas (2010).

A etapa (c), que representa a montagem das matrizes de comparação em pares é elaborada com base na “escala fundamental de números absolutos” definida por Saaty (2008). Tal escala é a mais utilizada para se obter a intensidade que cada critério tem em relação ao outro, e varia de 1 a 9 (VARGAS, 2010).

Desta forma, a matriz de n critérios será desenvolvida como mostra o Quadro 1. Quando comparado com ele próprio, o critério é sempre igualmente importante, ou seja, recebe a intensidade 1. Quanto aos valores reversos da comparação, chamados de valores recíprocos, estes serão sempre o inverso da intensidade apontada (SANTOS e CRUZ, 2013).

**Quadro 1 - Escala fundamental de números absolutos**

INTENSIDADE	ESCALA	COMENTÁRIOS
1	Igualmente preferido	Os dois critérios contribuem igualmente para o objetivo
2	Valor intermediário	Quando o consenso não for obtido e houver necessidade de uma negociação
3	Moderadamente preferido	A experiência e o julgamento favorecem um critério levemente sobre o outro
4	Valor intermediário	Quando o consenso não for obtido e houver necessidade de uma negociação
5	Fortemente preferido	A experiência e o julgamento favorecem um critério fortemente sobre o outro
6	Valor intermediário	Quando o consenso não for obtido e houver necessidade de uma negociação
7	Muito fortemente preferido	Um critério é fortemente favorecido em relação a outro e pode ser demonstrado
8	Valor intermediário	Quando o consenso não for obtido e houver necessidade de uma negociação
9	Extremamente preferido	Um critério é favorecido em relação a outro com o mais alto grau de certeza

Fonte: Adaptado. Saaty (2008).

A Tabela 9 traz um exemplo de como a matriz do método é elaborada, utilizando dois critérios para exemplificar:

**Tabela 9 - Exemplo de matriz com n = 2 e A mais importante que B.**

	Critério A	Critério B
Critério A	1	5
Critério B	1/5	1

Fonte: As autoras (2021).

Com a matriz elaborada, o autovetor é calculado por meio da média aritmética das intensidades definidas para cada um dos critérios e representa o peso relativo entre eles. Esta ação faz parte da etapa (c) (VARGAS, 2010). Como mostra a Equação 1.

$$AVN_n = \frac{VN_n}{\sum VN} \times 100 \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

$\sum VN$  = Somatório dos valores resultantes AVn.

O valor de  $\lambda_{máx}$  (maior autovalor da matriz de comparações) é obtido a partir da multiplicação da matriz soma de cada um dos critérios com a do auto vetor normalizado.

Por fim, deve-se analisar a consistência dos dados. Para calcular o índice de consistência (IC) deve-se utilizar a Equação 2 (SAATY, 2008).

$$IC = \frac{\lambda_{máx} - n}{n - 1} \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde:

n = número de critérios;

$\lambda_{máx}$  = maior autovalor da matriz de comparações;

Em seguida, e partir do resultado obtido, a Relação de Consistência (RC), a partir da Equação 3 (SAATY, 2008).

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde:

IR = Índice de consistência randômico;

IC = Índice de consistência.

O valor de IR é Tabelado e fixo, de acordo com o valor de n. definem-se os Índices de consistência randômicos, como estão apresentados na Tabela 10, com base em uma análise randômica desenvolvida. Para verificar se o valor de IC é adequado e consistente, o valor de RC deve ser menor que 20% (SAATY, 2008; DA SILVA, 2018).

**Tabela 10 - Índice de consistência randômico**

Dimensão da matriz	Inconsistência aleatória
1	0
2	0
3	0,58
4	0,9
5	1,12
6	1,24
7	1,32
8	1,14
9	1,45
10	1,49
11	1,51
12	1,48
13	1,56

Fonte: Adaptado. Saaty (2008).

Segundo Silva (2018), a matriz resultado é obtida a partir dos valores dos indicadores e seus pesos, conforme mostra a Equação 4:

$$V_1 = C_1 / \sum C \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde:

V1 = Valor referente ao material presente na linha "1";

C1 = Valor obtido no critério "C" do material 1, no caso da Tabela o critério "custo mão de obra";

$\sum C_{mo}$  = somatório de todos os valores obtidos com esse critério.

Caso o critério possua polaridade para cima, então o valor obtido em V1 já é o valor normalizado para cada material. Caso a polaridade seja oposta, então deve-se prosseguir os cálculos. Para isso, é necessário adicionar mais uma coluna a matriz, para se obter essa porcentagem final do peso de cada material, como mostra a Equação 5:

$$N_{11} = V_1 / \sum V \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde:

$N_1$  = Valor referente ao material “1” normalizado;

$V_1$  = Valor obtido por meio da equação 24;

$\sum v$  = Soma de todos os valores obtidos na equação 24.

Tal procedimento deve-se repetir para todos os critérios escolhidos e seus respectivos indicadores, cita Silva (2018).

A matriz de critério é obtida a partir da inserção de dados obtidos anteriormente, como mostra a Tabela 11:

**Tabela 11 - Critérios x Vetor decisão**

Critérios/Alternativas	$C_1$	$C_2$	$C_n$	Vetor Decisão
<b>Vetor dos critérios</b>	$AVN_1$	$AVN_2$	$AVN_n$	-
<b>Material 1</b>	$V_{11} / N_{11}$	$V_{12} / N_{12}$	$V_{1n} / N_{1n}$	$VD_1$
<b>Material 2</b>	$V_{21} / N_{21}$	$V_{22} / N_{22}$	$V_{2n} / N_{2n}$	$VD_2$
<b>Material “n”</b>	$V_{31} / N_{31}$	$V_{32} / N_{32}$	$V_{3n} / N_{3n}$	$VD_3$

Fonte: Adaptado de Silva, 2018

Os valores do vetor decisão de cada um dos materiais é obtido por meio da equação “somar produto” para suas respectivas linhas, em relação ao vetor de critérios. Se  $VD_1 > VD_2 > VD_3$ , então o material 1 foi a melhor escolha, seguido do material 2 e após o material 3 (SILVA, 2018).

## 2.5 INDICADORES DE DESEMPENHO

Indicadores de desempenho são medidas que mostram a comparação do que foi realizado pela operação em relação a uma expectativa ou objetivo (FRANCISCHINI, 2018). Desta forma, indicadores de desempenho medem os processos e operações e os comparam com um parâmetro.

Franchischini (2018) e Campos (2013) citam que indicadores-chave de performance, ou também conhecidos como Key Performance Indicators (KPI), são os indicadores prioritários do gerenciamento em questão. Para se definir estes

indicadores, deve-se primeiro entender qual é o objetivo que se deseja atingir de forma clara e mais específica possível. Em seguida, escolhe-se os KPIs considerados mais críticos do negócio naquele momento, mas que também sejam simples e objetivos.

Ao serem medidos, os indicadores trarão valores, os quais - comparados a um parâmetro/critério - dirão se os resultados do processo e/ou operação estão alinhados com as expectativas.



### 3 METODOLOGIA

Este estudo tem caráter teórico e exploratório. Para realizar esta pesquisa e chegar aos resultados apresentados, foi realizado um levantamento de informações por meio de estudos bibliográficos, bases de dados confiáveis, científicas e acadêmicas, e entrevistas com uma construtora da cidade de Curitiba.

A pesquisa foi iniciada com levantamentos da literatura e práticos sobre quais são as etapas mais críticas para a execução de uma obra. Baseadas nos processos apontados como críticos para as obras, as pesquisadoras definiram um processo para ser o enfoque do estudo - produção de fôrmas para pilares de concreto armado.

Dado isto, foram levantados dados teóricos sobre como este processo é executado: mapeamento do processo, materiais e métodos, resultados esperados e mão de obra.

Em seguida, focou-se no levantamento de dados da literatura sobre o tema Sustentabilidade e sobre a Sustentabilidade na Construção Civil. Mais especificamente, buscou-se informações sobre critérios e indicadores da sustentabilidade no processo específico escolhido.

Foram definidos os critérios de comparação, e com base nestes foi realizada a coleta de dados. Posteriormente, estes dados foram analisados por meio do método AHP, para que então fosse possível chegar a uma conclusão do estudo.

#### 3.1 DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS

Após aprofundar-se nos conceitos fundamentais desta pesquisa, notou-se que ainda não existe uma metodologia estabelecida de avaliação da Sustentabilidade para métodos construtivos. Assim, o principal objetivo desta etapa foi definir critérios que pudessem ser transformados em uma sistemática de avaliação de tecnologias construtivas, tal qual não existe ainda hoje.

Desta forma, os fundamentos da sustentabilidade apresentados no Referencial Bibliográfico e por Da Costa (2021) na Figura 11 foram alinhados às três dimensões da sustentabilidade (econômica, social e ambiental) e deram base para se definir os principais critérios deste estudo, separados em quatro categorias: econômica, social, ambiental e técnica.

Para analisar a categoria econômica, optou-se por indicadores relacionados a custo – por ser o primeiro indicador observado pelas construtoras. O índice de trabalho e retrabalho também mostrou-se ser um critério importante, isto porque quanto maior for esse número, implicará em mais tempo de atraso em outras fases da obra, o que leva a um aumento consequente de custos.

Na categoria social, optou-se pela escolha de um indicador voltado para o trabalhador e a ergonomia deste, e outros três direcionados à questão de valorização da economia local. Entende-se que a sociedade ocupa um papel importante para a Sustentabilidade, e deve ser considerada como parte da avaliação.

Para análise da categoria ambiental, optou-se pela escolha de indicadores que pudessem representar aspectos do ciclo de vida do material escolhido, ou seja, não só da sua utilização em obra, mas desde sua extração e origem até seu descarte, reutilização ou reciclagem.

Ao desenvolver os critérios de comparação para este estudo, chegou-se à conclusão de que é essencial que todos os métodos analisados devem apresentar uma qualidade mínima em seus resultados, e por isso deve-se levar em consideração critérios técnicos de execução e qualidade da superfície final dos pilares. Assim, foram selecionados três critérios técnicos.

Após a definição dos critérios, também se fez necessária a determinação da polaridade de cada um deles, ou seja, definiu-se o seu comportamento esperado, para que pudessem ser aplicados posteriormente os cálculos do método AHP.

Em resumo, todas as categorias, critérios escolhidos e também as polaridades adotadas para cada um são apresentados por meio do Quadro 2.

**Quadro 2 – Categorias x Critérios**

<b>Categoria</b>	<b>Critério</b>	<b>Polaridade</b>
Econômica	Custo Mão de Obra	↓
Econômica	Custo Materiais	↓
Econômica	Custo Equipamentos	↓
Econômica	Índice de trabalho e retrabalho realizado	↓
Social	Sobre esforço em manobras - Ergonomia	↓
Social	Taxa de fornecedores locais de mão de obra	↑
Social	Taxa de fornecedores locais de materiais	↑
Social	Taxa de fornecedores locais de equipamentos	↑
Ambiental	Consumo de Recursos Bióticos Vegetais	↓
Ambiental	Consumo de Recursos Abióticos Minerais Metálicos	↓
Ambiental	Consumo de Recursos Abióticos Hídricos	↓
Ambiental	Consumo de Recursos Abióticos Energéticos	↓
Ambiental	Geração de Resíduos Sólidos	↓
Técnica	Taxa de Estanqueidade	↑
Técnica	Taxa de Rugosidade	↑
Técnica	Taxa de Geometria	↑

**Fonte: Autoras, 2021**

Por fim, para que se fosse possível iniciar a coleta de dados dos critérios adotados, foi definido o memorial de cálculo de todos os critérios, ou seja, foi mapeada a equação ou método para chegar ao valor de cada um. Nas Tabelas 12 e 13 são mostradas as fórmulas alcançadas e, com base nestas, foi desenvolvida a planilha de coleta de dados para os sistemas de fôrmas.

Tabela 12 - Critérios e Formulários

Critério	Unidade	Formulário
Custo Mão de Obra	R\$/m <sup>2</sup>	$V_{tp1} = SF_1 \times \frac{Hh}{m^2} * A_p; V_{tm1} = SF_1 \times \frac{Hh}{m^2} * A_m; CMO = V_t / A_t$ <p>Em que: <math>V_{tp1}</math> = Custo total de mão de obra para produção; <math>SF_1</math> = Salário do funcionário; <math>Hh</math> = quantidade de homens hora necessários por m<sup>2</sup> para a produção de fôrmas; <math>A_p</math> = Area de fôrmas produzidas. <math>V_{tm1}</math> = Custo total de mão de obra para montagem e desforma; <math>SF_1</math> = Salário do funcionário; <math>Hh</math> = quantidade de homens hora necessários por m<sup>2</sup> para a montagem e desforma;</p> <p><math>A_m</math> = Area de fôrmas montadas. <math>V_t</math> = Custo total de mão de obra; <math>CMO</math> = Custo de mão de obra por metro quadrado de pilar construído; <math>A_t</math> = Área total de pilares construídos.</p>
Custo Materiais	R\$/m <sup>2</sup>	$CM = C_{mat} / A_t$ <p>Em que: <math>CM</math> = Custo de materiais por metro quadrado de pilar construído; <math>C_{mat}</math> = Custo de materiais para a fôrma (incluindo frete/carga/descarga); <math>A_t</math> = Área total de pilares construídos.</p>
Índice de trabalho e retrabalho realizado	Hh/m <sup>2</sup>	$I = \frac{Hh_1 + Hh_2 + \dots + Hh_n}{A_t}$ <p>Em que: <math>I</math> = Índice de trabalho e retrabalho (Hh/m<sup>2</sup>); <math>Hh_n</math> = quantidade de homens hora necessários para o método "n"; <math>A_t</math> = Área total de pilares construídos.</p>
Sobre esforço em manobras - Ergonomia	Kg/m <sup>2</sup>	$P_t = A_t \times e_m \times \rho_m; SE = P_t / A_t$ <p>Em que: <math>P_t</math> = Peso total das fôrmas de pilares construídas; <math>e_m</math> = Espessura das fôrmas de pilares construídas; <math>\rho_m</math> = Peso específico do material; <math>A_t</math> = área total de pilares construída; <math>SE</math> = Sobre esforço em manobras.</p>
Taxa de fornecedores locais de mão de obra	%	$TMO = N_{lmo} / N_{tmo}$ <p>Em que: <math>TMO</math> = Taxa de fornecedores locais de mão de obra; <math>N_{lmo}</math> = Número de fornecedor locais (dentro do parâmetro definido) de mão de obra; <math>N_{tmo}</math> = Número total de fornecedores de mão de obra.</p>

Fonte: Autoras, 2021

Tabela 13 - Critérios e Formulários (Continuação)

Critério	Unidade	Formulário
Taxa de fornecedores locais de materiais	%	$TM = N_{lm} / N_{tm}$ <p>Em que: TM = Taxa de fornecedores locais de materiais; <math>N_{lm}</math> = Número de fornecedor locais (dentro do parâmetro definido) de materiais; <math>N_{tm}</math> = Número total de fornecedores de materiais.</p>
Consumo de Recursos Bióticos Vegetais	$m^3/m^2$	$CRB = V_{mad} / A_t$ <p>Em que: CRB = Consumo de recursos bióticos vegetais (<math>m^3/m^2</math>); <math>V_{mad}</math> = Volume de madeira comprado para fôrmas (<math>m^3</math>); <math>A_t</math> = Area total de pilares construída (<math>m^2</math>).</p>
Consumo de Recursos Abióticos Minerais Metálicos	$Kg/m^2$	$CRA = V_m / A_t$ <p>Sendo: CRA = Consumo de recurso abióticos minerais metálicos (<math>kg/m^2</math>); <math>V_m</math> = Volume de metais utilizado (<math>kg</math>); <math>A_t</math> = Área total de pilares construída.</p>
Consumo de Recursos Abióticos Hídricos	$m^3/m^2$	$CRAH = V_{ac} / A_{total\ de\ pilares}$ <p>Sendo: CRAH = Consumo de recurso abióticos hídricos (<math>m^3/m^2</math>); <math>V_{ac}</math> = Volume de agua incorporada no material (<math>m^3</math>).</p>
Consumo de Recursos Abióticos Energéticos	$KWh/m^2$	$CRAE = E_{inc} / A_t$ <p>Sendo: CRAE = Consumo de recurso abióticos energéticos renováveis (<math>kWh/m^2</math>); <math>E_{inc}</math> = Quantidade de energia elétrica renovável incorporada no material (<math>kWh</math>)</p>

Fonte: Autoras, 2021

### 3.2 COLETA DE DADOS

Com o propósito de se obter as informações necessárias para as fôrmas de madeira, foram coletados dados reais de duas obras de uma mesma construtora, definidas como “Obra 01” e “Obra 02” neste trabalho. Ambas as obras estão localizadas em Curitiba – PR, nos bairros Juvevê e Ecoville, com 15 e 18 pavimentos, respectivamente. Tanto a Obra 01 como a Obra 02 são de médio e alto padrão, com a mesma metodologia e planejamento de construção.

Outro dado que se mostrou necessário durante o estudo foi a obtenção da metragem total de fôrmas construídas e metragem total de fôrmas para pilares construídas. Tais dados foram obtidos por meio dos projetos estruturais de cada uma das obras e foram utilizados para chegar a um percentual de fôrmas exclusivas para pilares, com relação ao total de fôrmas do projeto – para pilares, vigas e lajes. Este percentual foi utilizado como parâmetro para outros indicadores.

Para a coleta de dados referente aos indicadores de custo, a empresa estudada forneceu um relatório orçamentário - de cada uma das obras - com todas as compras realizadas durante o período de construção. Por meio deste, foi possível obter os valores gastos com cada tipo de material e com equipamentos, assim como a localidade dos fornecedores. De forma empírica, realizou-se uma projeção - com os mesmos parâmetros - para se obter os dados do método de fôrmas mistas (metal mais madeira), por meio de contato com fornecedores do material buscado.

Os demais indicadores para os dois sistemas foram obtidos valendo-se dos projetos estruturais, dos relatórios fornecidos abertamente pela construtora – como o relatório de geração de resíduos sólidos, cronogramas de obra, cronogramas físico-financeiro e das projeções realizadas -, dos dados Tabelados pelo Manual Básico da Construção Civil, do Sinduscon, do software OpenLCA e das informações apresentados no referencial bibliográfico.

### 3.3 APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP

O seguinte passo foi a aplicação da metodologia de tomada de decisão AHP. Para tal, iniciou-se com a priorização dos critérios, a qual consiste em hierarquizar, por meio da Escala Fundamental de Saaty (Quadro 1), os critérios aderidos.

Para garantir a consistência da análise, tal matriz Tabela foi preenchido por quatro especialistas - engenheiros civis e profissionais da área de construção e Sustentabilidade -, com o objetivo a minimizar a subjetividade na priorização dos critérios. Com o resultado dos questionários em mãos, foi possível chegar à hierarquização final utilizada no estudo.

Os indicadores – baseados nos critérios - dos métodos foram comparados por meio da metodologia matemática do AHP, e obtiveram resultados chamados de vetores decisão, estes quais possuem o objetivo final de verificar qual sistema dentre

os analisados se mostrou mais vantajoso quando comparado ao outro. O método que possuísse o valor em porcentagem mais elevado, se mostraria o mais adequado, ou seja, mais sustentável.

## 4 APLICAÇÃO E RESULTADOS

Seguindo a metodologia apresentada, obteve-se os resultados desta pesquisa. Vale ressaltar que a comparativa foi feita de maneira empírica, uma vez que dados reais de campo do sistema de fôrmas de madeira serão comparados com dados estimados do outro método mencionado – fôrmas mistas.

O primeiro passo para que fosse possível realizar-se todos os cálculos foi a definição da quantidade de metros quadrados de área total de fôrmas de pilares produzidas e montadas ( $A_t$ ), obtida por meio da análise do projeto estrutural de fôrmas. Com este valor, foi possível prosseguir para a obtenção dos critérios definidos.

Os valores de áreas totais de fôrmas produzidas e compradas, tanto para a Obra 01, quanto para a Obra 02, estão descritos na Tabela 14. A porcentagem de representatividade de fôrmas de pilares foi de 36,4% para a Obra 01 e 22,61% para a Obra 02.

**Tabela 14 - Relação de metragem obra 01 e obra 02**

	<b>Obra 01</b>	<b>Obra 02</b>
Área total de fôrmas para pilares produzidos (m <sup>2</sup> )	3715,2	3709
Área total de fôrmas produzidas (m <sup>2</sup> )	10207,1	16407
Área de madeira compensada comprada para produção de pilares (m <sup>2</sup> )	1962,8	3554,0
Volume de madeira pinus comprada para produção de pilares (m <sup>3</sup> )	25,5	15,6

**Fonte: Autoras, 2021**

### 4.1 CRITÉRIOS ECONÔMICOS – INDICADORES

#### 4.1.1 Custo mão de obra

Para o custo da mão de obra, obteve-se quais funções de trabalho foram necessárias para o serviço, com base nas Tabelas 1 e 2, o salário de cada uma destas funções - valendo-se de dados da Sintacron (2021) presentes na Tabela 3 -, e quantos

funcionários trabalharam em cada função por quanto tempo – desde a primeira montagem (produção), desforma e remontagem. Foram aplicadas, então, as fórmulas referentes a este indicador, chegando aos seguintes resultados de indicadores, mostrados pelas autoras na Tabela 15.

**Tabela 15 - Indicadores de Custo Mão de Obra (R\$/m<sup>2</sup>)**

	<b>Obra 01</b>	<b>Obra 02</b>
<b>Madeira</b>	R\$ 22,96	R\$ 22,96
<b>Mista</b>	R\$ 12,76	R\$ 12,76

**Fonte: Autoras, 2021**

#### 4.1.2 Custo de materiais

Para a obtenção do custo de materiais (R\$/m<sup>2</sup>), buscou-se o valor gasto com a compra dos materiais para a fôrma, por meio do histórico de compra de ambas as obras. Com esse dado, e do valor total de metros quadrados construído de pilares, de material total gasto em cada uma das obras, e a previsão para fôrmas mistas. Como mostram as autoras na Tabela 16.

**Tabela 16 - Valor total de materiais**

	<b>Obra 01</b>	<b>Obra 02</b>
<b>Madeira</b>	R\$ 59.287,82	R\$ 46.114,39
<b>Mistas</b>	R\$ 167.451,00	R\$ 160.113,29

**Fonte: Autoras, 2021**

Com estes valores e da metragem quadrada construída, chegou-se ao resultado de indicadores buscado, como mostram as autoras na Tabela 17.

**Tabela 17 - Indicadores de Custo Material (R\$/m<sup>2</sup>)**

	<b>Obra 01</b>	<b>Obra 02</b>
<b>Madeira</b>	R\$ 15,96	R\$ 12,43
<b>Mistas</b>	R\$ 45,07	R\$ 43,17

**Fonte: Autoras, 2021**

Vale ressaltar que, para o caso de fôrmas mistas como se optou pelo uso de aluguel, o valor foi encontrado por meio da estimativa de que em cada mês (tempo fornecido via orçamento) seria possível realizar a construção de um pavimento. Dessa



maneira, o valor para a área total corresponde a área de um pavimento – obtido pela média de todos os outros.

Também foram inclusos valores de carga, descarga, e frete do material, conforme valores mostrados no orçamento da empresa com a qual foi entrado em contato, presentes nas Tabelas 6 e 7. Para o valor de carga e descarga tomou-se como base o caminhão tipo “truck” e as fôrmas para utilização do tipo “Ideal”, conforme já descrito anteriormente.

#### 4.1.3 Custo equipamentos

Para cada um dos métodos escolhidos, também são necessários equipamentos usuais e específicos para sua construção, como citado anteriormente no referencial teórico. No entanto, notou-se também que tais materiais utilizados para os métodos não são exclusivos a esta atividade apenas, além de possuírem uma longa durabilidade, podendo ser utilizados para outros fins dentro da obra ou em outras da construtora.

Visto isso, escolheu-se então manter o indicador de custo de equipamentos para ambos os materiais como 1. Caso em um futuro estudo este critério apresente custos relevantes, então pode ser incluído, de acordo com as equações sugeridas na Tabela 12.

#### 4.1.4 Índice de trabalho e retrabalho realizado

Para este indicador foi necessário somar a quantidade de horas trabalhadas – por meio de valores já Tabelados -, para cada método, de maneira que foram obtidos os valores mostrados pelas autoras, presentes na Tabela 18.

**Tabela 18 – Valores de horas trabalhadas (Hh)**

	<b>Obra 01</b>	<b>Obra 02</b>
Madeira	9109,6	9094,5
Mista	4996,9	4988,6

**Fonte: Autoras, 2021**

Em seguida aplicou-se a fórmula demonstrada em Tabela 3 para que fosse possível chegar aos resultados dos indicadores, mostrados na Tabela 19.

**Tabela 19 - Indicadores de índice de trabalho e retrabalho (Hh/m<sup>2</sup>)**

	<b>Obra 01</b>	<b>Obra 02</b>
Madeira	2,45	2,45
Mista	1,35	1,35

**Fonte: Autoras, 2021**

## 4.2 CRITÉRIOS SOCIAIS – INDICADORES

### 4.2.1 Sobre esforço em manobras

Na Tabela 20 estão descritos os resultados obtidos para cada método e obra analisada.

**Tabela 20 - Indicador de Sobre esforço em manobras (kg/m<sup>2</sup>)**

	<b>Obra 01</b>	<b>Obra 02</b>
Madeira	8,84	7,82
Mista	54,62	54,62

**Fonte: Autoras, 2021**

Para as fôrmas metálicas, o peso total foi obtido diretamente com o fabricante, pela Tabela mostrada na Tabela 4, foi realizado uma média com todos os valores Tabelados e o total de metros quadrados, de forma a se obter o sobre esforço.

#### 4.2.2 Taxa de fornecedores locais

De maneira resumida, os valores de entrada e saída dos os indicadores de taxa de fornecedores locais de mão de obra estão apresentados na Tabela 21, pelas autoras.

<b>Tabela 21 - Indicadores de mão de obra local (%)</b>		
	<b>Obra 01</b>	<b>Obra 02</b>
Madeira	100%	100%
Mista	100%	100%

**Fonte: Autoras, 2021**

Para esta mesma taxa referente a materiais, dos sistemas de madeira e misto está apresentado na Tabela 22, os resultados obtidos.

<b>Tabela 22 - Indicadores de fornecedores de materiais locais (%)</b>		
	<b>Obra 01</b>	<b>Obra 02</b>
Madeira	100%	100%
Mista	100%	100%

**Fonte: Autoras, 2021**

Como mencionado anteriormente, os equipamentos foram considerados itens já intrínsecos aos orçamentos de uma obra, dessa maneira entendeu-se que todo tipo de equipamento utilizado poderia ser de fornecimento local. Posto que, são também itens de fácil acesso e pouca variação de preço entre locais de diferentes regiões. Desta forma, escolheu-se trabalhar também com o indicador de valor 1 para todas as obras e métodos.

### 4.3 CRITÉRIOS AMBIENTAIS – INDICADORES

#### 4.3.1 Consumo de recurso bióticos vegetais

Para o consumo de recursos bióticos vegetais, primeiramente definiu-se quais dos materiais estudados (madeira e metal) entravam nessa categoria, portanto apenas a madeira. Posto isso, utilizou-se as formulas demonstradas na Tabela 02, e obteve-se então os resultados mostrados da Tabela 23.

**Tabela 23 - Indicadores de consumo de recursos bióticos vegetais (m³/m²)**

	<b>Obra 01</b>	<b>Obra 02</b>
Madeira	0,009	0,011
Mista	0,005	0,006

**Fonte: Autoras, 2021**

#### 4.3.2 Consumo de recursos abióticos minerais metálicos

Seguiu-se o mesmo critério utilizado para recursos bióticos vegetais, e foram obtidos dados referentes às fôrmas que utilizavam metais em sua composição. Após isso, obteve-se os indicadores mostrados na Tabela 24.

**Tabela 24 - Indicadores de consumo de recursos abióticos minerais metálicos (kg/m²)**

	<b>Obra 01</b>	<b>Obra 02</b>
Madeira	0	0
Mista	32,05	32,05

**Fonte: Autoras, 2021**

#### 4.3.3 Consumo de recursos abióticos hídricos

O valor para este indicador pôde ser obtido a partir de estudos preliminares, e extraídos do software “OpenLCA”. Sendo possível então chegar-se aos resultados presentes na Tabela 25.

**Tabela 25 - Indicadores de consumo de recursos abióticos hídricos (m³/m²)**

	<b>Obra 01</b>	<b>Obra 02</b>
Madeira	0,12	0,14
Mista	0,07	0,09

**Fonte: Autoras, 2021**

#### 4.3.4 Consumo de recursos abióticos energéticos

Para se obter estes índices para seus respectivos materiais, foram utilizados como base trabalhos científicos (MACEDO, 2011), de maneira que fossem obtidos os resultados presentes na Tabela 26.

**Tabela 26 - Indicadores de consumo de recursos abióticos energéticos renováveis (kWh/m<sup>2</sup>)**

	<b>Obra 01</b>	<b>Obra 02</b>
Madeira	17,73	12,67
Mista	43,3	54,12

**Fonte: Autoras, 2021**

#### 4.3.5 Geração de resíduos sólidos

O último parâmetro ambiental escolhido foi o volume de resíduos sólidos gerados por metro quadrado, o que é obtido a partir do relatório de geração de resíduos (GRCC) de cada uma das obras estudadas.

Os resultados obtidos pelas autoras, estão presentes na Tabela 27.

**Tabela 27 - Indicadores de geração de resíduos sólidos (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>)**

	<b>Obra 01</b>	<b>Obra 02</b>
Madeira	0,011	0,006
Mista	0	0

**Fonte: Autoras, 2021**

#### 4.4 CRITÉRIOS TÉCNICOS - INDICADORES

Durante a coleta de dados, notou-se que não seria possível calcular os indicadores dos critérios definidos dentro da categoria técnica para esta pesquisa, pois as obras analisadas já estavam finalizadas e, por isso, não seria viável averiguar as condições de estanqueidade, rugosidade e geometria. Tampouco estes dados foram registrados pelos engenheiros das obras.

Portanto, durante aplicação do método AHP, os critérios técnicos não foram incorporados aos cálculos. Isso posto, definiu-se que os três critérios apontam indicadores iguais e minimamente satisfatórios. Ou seja, entende-se que todos os métodos apresentam boas e iguais taxas de estanqueidade, de rugosidade e geometria.

#### 4.5 RESULTADOS - INDICADORES

Na Tabela 28, foi disposto um resumo de todos os indicadores alcançados para critérios definidos, com seus respectivos métodos construtivos e obras avaliadas. Tais indicadores são a base numérica para que as metodologias construtivas sejam comparadas.

**Tabela 28 - Resumo critérios x indicadores**

Critério	Obra 01		Obra 02	
	Madeira	Mista	Madeira	Mista
Custo Mão de Obra	R\$ 22,96	R\$12,76	R\$ 22,96	R\$ 12,76
Custo Materiais	R\$15,96	R\$ 45,07	R\$ 12,43	R\$ 43,17
Custo Equipamentos	R\$1,00	R\$ 1,00	R\$ 1,00	R\$ 1,00
Índice de trabalho e retrabalho realizado	2,45	1,35	2,45	1,35
Sobre esforço em manobras - Ergonomia	8,84	54,62	7,82	54,62
Taxa de fornecedores locais de mão de obra	100%	100%	100%	100%
Taxa de fornecedores locais de materiais	100%	100%	100%	100%
Taxa de fornecedores locais de equipamentos	100%	100%	100%	100%
Consumo de Recursos Bióticos Vegetais	0,009	0,005	0,011	0,006
Consumo de Recursos Abióticos Minerais Metálicos	0,00	32,05	0,00	32,05
Consumo de Recursos Abióticos Hídricos	0,12	0,07	0,14	0,09
Consumo de Recursos Abióticos Energéticos	17,73	43,30	12,67	54,12
Geração de Resíduos Sólidos	0,011	0	0,006	0

**Fonte: Autoras, 2021**

#### 4.6 EXECUÇÃO DO MÉTODO AHP

Como estabelece o método AHP, os critérios abordados foram priorizados por meio do preenchimento da matriz Tabela – como explanado na metodologia -, a qual consiste na comparação entre todos os 13 critérios, par a par, por meio da escala fundamental de Saaty. Desta forma, na Tabela 29 está apresentada a hierarquização dos critérios obtida.

Os três critérios mais priorizados foram o Consumo de Recursos Abióticos Energéticos Renováveis, ou seja, o consumo de energia incorporada no ciclo de vida do material (23,4%), a Geração de Resíduos Sólidos, ou seja, o volume de resíduos gerados por cada sistema (14,5%) e o Consumo de Recursos Abióticos Mineraiis Metálicos, ou seja, o consumo de metal incorporado no ciclo de vida do material (12,6%). Estes três critérios, os quais apresentaram importância acima de 10% cada e somados representam mais de 50% do peso total, estão situados na categoria ambiental.

**Tabela 29 - Critérios e ordem de priorização**

<b>Critério</b>	<b>Peso de priorização</b>
Consumo de Recursos Abióticos Energéticos Renováveis	23,4%
Geração de Resíduos Sólidos	14,5%
Consumo de Recursos Abióticos Mineraiis Metálicos	12,6%
Consumo de Recursos Bióticos Vegetais	9,8%
Custo Materiais	7,3%
Consumo de Recursos Abióticos Hídricos	6,2%
Taxa de fornecedores locais de mão de obra	5,8%
Sobre esforço em manobras - Ergonomia	4,4%
Índice de trabalho e retrabalho realizado	4,3%
Taxa de fornecedores locais de materiais	3,9%
Custo Mão de Obra	2,7%
Taxa de fornecedores locais de equipamentos	2,5%
Custo Equipamentos	2,4%

**Fonte: Autoras, 2021**

Os passos subsequentes estão relacionados à execução matemática do método, de acordo com o referencial teórico. O índice de consistência (IC) foi obtido conforme descrito na equação 2, e com este foi calculada a Relação de Consistência a partir da equação 3. Assim, comprovou-se que o valor de RC é confiável e consistente, pois foi de 18%.

Na Tabela 30 são apresentados o resultado de todas as interações matemáticas e a porcentagem dos vetores - referentes a Obra 01 - sendo a primeira linha das Tabelas referente ao peso dos critérios – apresentado também pela Tabela 29 -, e as duas linhas subsequentes referentes ao peso representado para cada método, com relação ao respectivo critério.

**Tabela 30 - Matriz resultado com peso de indicadores Obra 01**

<b>Critérios/Alternativas</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>
<b>Vetor dos critérios (%)</b>	2,66	7,30	2,45	4,28	4,43	5,84	3,94	2,54	9,84	12,61	6,20	23,37	14,54
<b>Madeira (%)</b>	35,73	73,85	50,00	35,42	86,07	50,00	50,00	50,00	34,81	100,00	37,10	70,95	0,00
<b>Mistas (%)</b>	64,27	26,15	50,00	64,58	13,93	50,00	50,00	50,00	65,19	0,00	62,90	29,05	100,00

**Fonte: Autoras, 2021**

Na Tabela 31, são apresentados os mesmos resultados destas interações, porém com dados referentes a Obra 02.

**Tabela 31 - Matriz resultado com peso de indicadores Obra 02**

<b>Critérios/Alternativas</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>
<b>Vetor dos critérios (%)</b>	2,66	7,30	2,45	4,28	4,43	5,84	3,94	2,54	9,84	12,61	6,20	23,37	14,54
<b>Madeira (%)</b>	35,73	77,64	50,00	35,42	87,48	50,00	50,00	50,00	34,81	100,00	38,60	81,03	0,00
<b>Mistas (%)</b>	64,27	22,36	50,00	64,58	12,52	50,00	50,00	50,00	65,19	0,00	61,40	18,97	100,00

**Fonte: Autoras, 2021**

Interpretando os resultados obtidos e apresentados pelas Tabelas 30 e 31, notou-se que os grandes destaques do sistema de fôrmas de madeira foram os critérios: Consumo de Recursos Abióticos Minerais Metálicos (100% e 100%), Sobre Esforço em Manobras (86,07% e 87,48%), Consumo de Recursos Abióticos Energéticos (70,95% e 81,03%) e Custo de Materiais (73,85% e 77,64%).

Já para os sistemas de fôrmas mistas, os destaques foram os critérios: Geração de Resíduos Sólidos (100% e 100%), Consumo de Recursos Bióticos Vegetais (65,19% e 65,19%), Custo de Mão de Obra (64,27% e 64,27%), Índice de Trabalho e Retrabalho Realizado (64,58% e 64,58%) e Consumo de Recursos Abióticos Hídricos (62,9% e 61,4%).

Por meio das equações para o alcance do vetor decisão na matriz, chegou-se finalmente ao resultado de qual sistema se mostrou mais vantajoso, de acordo com todos os demais apresentados até então. Como mostram as autoras nas Tabelas 32 e 33.



Na Tabela 32, apresentam-se os resultados referentes a Obra 01, a qual apresentou um vetor decisão de 54% para as fôrmas de madeira.

<b>Tabela 32 - Vetor decisão obra 01</b>	
<b>Material</b>	<b>Vetor Decisão (%)</b>
Madeira	54
Mistas	46

**Fonte: Autoras, 2021**

Na Tabela 33, as autoras apresentam resultados para a Obra 02, em que se apresentou um vetor decisão de 56,8% para o mesmo sistema.

<b>Tabela 33 - Vetor decisão obra 02</b>	
<b>Material</b>	<b>Vetor Decisão (%)</b>
Madeira	56,8
Mistas	43,2

**Fonte: Autoras, 2021**

De acordo com os resultados obtidos, é possível afirmar que os critérios que favoreceram o sistema de fôrmas de madeira tiveram uma representatividade grande no peso, quando comparadas ao sistema de fôrmas mistas. Já os critérios que favoreceram os sistemas de fôrmas mistas apresentaram pesos bastante similares, e por isso teve menor influência no resultado final.

Outro ponto que favoreceu a decisão das fôrmas de madeira como mais sustentável foi o fato de dois dos três critérios mais priorizados pelo estudo apontarem vantagem para o sistema de fôrmas de madeira.

## 5 CONCLUSÃO

Por meio dos valores obtidos pelo vetor decisão, pode-se obter a principal resposta buscada no estudo: conclui-se que, para ambas as obras, o método que se mostrou mais sustentável – baseado nas escolhas de critérios e suas hierarquizações -, foi o de fôrmas de madeira. Sendo de 54% preferido para a Obra 01, e 56,8% para a Obra 02, tais resultados corroboram então com a decisão da construtora.

Outras conclusões interessantes também puderam ser obtidas no estudo. A primeira delas é a que não necessariamente um método que possua mais critérios em destaque, será o preterido. Como observou-se, as fôrmas de madeira tiveram quatro critérios com preferência, enquanto que o sistema misto obteve cinco, porém a relevância dos critérios para o primeiro método apresentou uma porcentagem mais significativa.

Outro ponto a se destacar é o de que os critérios definidos no nicho econômico são essenciais, e sempre são os primeiros a serem visados pelas construtoras. No entanto, os critérios da categoria ambiental e social - inicialmente não vistos como tão relevantes -, foram mais priorizados na hierarquização. Ou seja, pode-se dizer que o desenvolvimento sustentável dentro da construção civil está tomando maior importância e representatividade nas tomadas de decisão, antes voltadas somente aos custos.

Este direcionamento à Sustentabilidade mostra-se cada dia mais relevante, tendo vista alguns dos impactos ambientais negativos gerados pela indústria da construção civil e pelo ser humano. O planeta já expressa de forma relevante as consequências geradas por tais impactos, como a extinção de espécies, inundações, erosões, poluição, mudanças climáticas, destruição da camada de ozônio, chuva ácida, agravamento do efeito estufa e destruição de habitats.

Conclui-se também que o método de análise hierárquica (AHP) se mostrou aplicável e apropriado para análises de sistemas construtivos. Ademais, este método de tomada de decisão, aliado aos conceitos de Sustentabilidade, possibilitaram a criação de uma sistemática de avaliação de tecnologias construtivas com base em critérios sustentáveis, o qual poderá ser replicado em diversos outros estudos.

As planilhas de cálculo e a metodologia desenvolvidas durante o estudo poderão ser utilizadas para novas tomadas de decisão, tanto pelas autoras como pela

área de conhecimento, por conta de sua facilidade de adaptação e replicabilidade asseguradas no desenvolvimento do presente trabalho.

Para o caso estudado, acredita-se que uma gama maior de dados poderia direcionar a resultados mais precisos – como um maior número de obras, construtoras e portes, tipos de obra. Além disso, a seleção de critérios diferentes – mais amplos ou mais direcionados – poderia permitir a comparação de sistemas não tão similares como foi o caso deste estudo. Ainda visando maior precisão nos resultados, recomenda-se que os critérios técnicos sejam incorporados sempre que possível, devido à sua grande influência nos demais critérios.

Por fim, para futuros projetos, tendo como base este desenvolvimento e os cálculos apresentados, poderiam ser analisados outros tipos de materiais para fôrmas, como o papelão ou fôrmas inteiramente metálicas. Outra alternativa seria estudar obras de habitação popular, tendo vista que possuem uma estrutura de construção estrutural diferente de edifícios de médio e alto padrão.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT **NBR 15575/2013**. Disponível em: < [https://www.caubr.gov.br/wp-content/uploads/2015/09/2\\_guia\\_normas\\_final.pdf](https://www.caubr.gov.br/wp-content/uploads/2015/09/2_guia_normas_final.pdf)>. Acesso em: 08 mai 2021.

ABNT **NBR ISO 14040**: Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. Brasil, 2009a.

AHP **PRORITY CALCULATOR**. Curitiba, 2021. Disponível em < <https://bpmsg.com/ahp> >. Acesso em: 24 de agosto de 2021.

ALVES, F. L. **Fôrmas na construção civil: análise nas obras em Pato Branco - PR**. 2015. 79 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2015.

ARCANJO, C. F. D., AMARAL, T. M., & PEREIRA DE SÁ, G. L. **Aplicação e comparação dos métodos Electre II e Promethee II como ferramentas de auxílio à tomada de decisões hospitalares**. 2015. Exacta – EP, São Paulo, 13(2), 177-186.

BUSANELLO, J. **Estudo de comparativo entre estrutura de concreto armado e estrutura metálica mista na construção de edifício comercial**. 2019. 26 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Gerenciamento de Obras) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

BUXEL, H.; ESENDURAN, G.; GRIFFIN, S. **Strategic Sustainability: Creating Business Value with Life Cycle Analysis**. Business Horizons, v. 58, n. 1, p. 109-122, 2015.

CALIL, C. Jr., (2001). **Fôrmas de madeira para concreto armado**. Notas de Aula SET 613. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2001

CALIXTO, A. M. S. **Métodos de Avaliação da Sustentabilidade na Construção – Análise comparativa e aplicação a caso de estudo**. Coimbra. Dezembro. 2016. Disponível em: < <http://comum.rcaap.pt/handle/10400.26/18857>>. Acesso em: 08 mai 2021.

CAMPOS, V.F. **Gerenciamento da Rotina e do Trabalho do dia-a-dia**. 2013. Ed. 9.

CARVALHO, C. R. **Calculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**. 4 ed. São Paulo: Pini, 2009.

CBIC. Brasília, 2020. Disponível em: <<https://cbic.org.br/construcao-civil-e-a-locomotiva-do-crescimento-com-emprego-e-renda/>>. Acesso em: 08 mar. 2021.

CEF.CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Reciclagem do entulho para produção de obra** ed. 63, Setembro 2013.

DA COSTA, C. A. **O uso de Redes Neurais Artificiais como suporte para o desenvolvimento de Índice de Sustentabilidade para Edifícios Habitacionais**. 253 páginas. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Curitiba – PR, 2021.

DA SILVA, G. **Entrevista representante de venda Orguel Curitiba**. Curitiba, Paraná, 2021

DE BARROS, Mercia Maria S. Bottura; MELHADO, Silvio Burrattino. **Recomendações para a produção de estruturas de concreto armado em edifícios**. 1998.

DE CONTO, V.; LUCAS DE OLIVEIRA, Marcos; RUPPENTHAL, Janis Elisa. **Certificações ambientais: contribuição à sustentabilidade na construção civil no Brasil**. Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas, [S.l.], v. 12, n. 4, p. 100, nov. 2017. ISSN 1984-2430. Disponível em: <<https://revista.feb.unesp.br/index.php/gepros/article/view/1749/806>>. Acesso em: 05 maio 2021. doi:<https://doi.org/10.15675/gepros.v12i4.1749>.

DE SOUZA, U. **Manual básico de indicadores de produtividade na construção civil**. CBIC, Brasília. Maio, 2017.

DEGANI, J. O Impacto e a Importância da Construção Civil no País. Curitiba, 2020. Disponível em: <<https://www.sienge.com.br/blog/construcao-civil-no-pais/>>. Acesso em: 08 mar. 2021.

DIMIBU, Multiforma concretubo. **Concretubo multiformas**. Curitiba, 2021. Disponível em: <<https://dimibu.com.br/concretubo-multiformas/>>. Acesso em: 24 de maio de 2021.

EKINCI OGLU, O.; GURGUN, A. P.; ENGIN, Y.; TARHAN, M.; KUMBARACIBASI, S. **Approaches for sustainable cement production – A case study from Turkey**. Energy and Buildings, v. 66, p. 136-142, 2013.

FAJERSZTAJN, H. **Fôrmas para concreto armado. Aplicação para o caso do edifício. São Paulo. Tese (Doutorado)** - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1987, p241.

FEPEX. **Sistema construtivo #1 – Estrutura de concreto armado com alvenaria de vedação cerâmica**. Curitiba, 2021. Disponível em: <https://www.fepex.com.br/single-post/estrutura-de-concreto-armado-alvenaria>. Acesso em 24 de maio de 2021.

FRANCISCHINI, A. S. N. FRANCISCHINI, Paulino G. **Indicadores de Desempenho: Dos objetivos à ação — métodos para elaborar KPIs e obter resultados**. 2018. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?hl=ptBR&lr=&id=IQSSDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=>

[PP1&dq=indicadores+de+desempenho+kpi&ots=ToqWNhfnWs&sig=kS9ccPSaKgwT0cei00BzUOL9Qyl#v=onepage&q&f=false](http://www.gbcbrasil.org.br/revistas.php)>. Acesso em: 22 Abr. 2021.

GREEN BUILDING COUNCIL - GBC. Anuário 2015: certificações. Revista GBC Brasil, v. 2, n. 4, 2015. Disponível em: <<http://www.gbcbrasil.org.br/revistas.php>>. Acesso em: 05. mai. 2021.

GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL - GBC. 2021. Disponível em: <<https://www.gbcbrasil.org.br/certificacao/certificacao-leed/>>. Acesso em: 08 mai. 2021.

GRILLO, E. **Entrevista realizada em campo com o engenheiro civil**. Curitiba. Paraná. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Censo 2010. **Censo demográfico 2010: resultados gerais da amostra**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/>> Acesso em: 08 mai. 2021.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA - IPEA. Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Construção Civil. Brasília. 2012. Disponível em: <[http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/7669/1/RP\\_Diagnóstico\\_2012.pdf](http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/7669/1/RP_Diagnóstico_2012.pdf)>. Acesso em: 08 mar. 2021.

KUSZKOWSKI, H. **Tomada de decisão entre sistemas de reforço de estruturas em concreto armado: uma aplicação do método Analytic Hierarchy Process (AHP)**. Curitiba. 2017. Disponível em: <[http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/9017/1/CT\\_COECI\\_2017\\_1\\_12.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/9017/1/CT_COECI_2017_1_12.pdf)>. Acesso em: 08 mai 2021.

LANHAM, A., GAMA, P., BRAZ, R. **Arquitetura Bioclimática, Perspectivas de inovação e futuro - Seminários de Inovação**. Instituto Superior Técnico de Lisboa. Lisboa. Portugal. 2004.

LEHNHART, E. R. **Tomada de decisão em contextos específicos: uma análise das relações entre os métodos multicritérios de apoio à decisão e as estratégias de decisão humana**. Santa Maria. 2016. Disponível em: <<https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/3145/LEHNHART%2c%20ELIETE%20DOS%20REIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 08 mai 2021.

LEITE, I. M. S.; FREITAS, F. F. T. **Análise comparativa dos métodos de apoio multicritério a decisão: AHP, ELECTRE e PROMETHEE**. XXXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Bento Gonçalves - RS: ABEPRO - Associação Brasileira de Engenharia de Produção. 2012. p. 1-11. MACHADO, A. D. P. Viapol, 2014. Disponível em: <<http://www.viapol.com.br/media/97576/manual-fibra-de-carbono.pdf>>. Acesso em: 8 mai 2021.

LUNARDELLI, P. **Como a transformação digital na construção civil influencia nos resultados**. 2020. Disponível em: <<https://www.sienge.com.br/blog/transformacao-digitalnaconstrucaocivil/#:~:text=Historicamente%2C%20a%20construção%20civil%20é,respeito%20à%20digitalização%2C%20por%20exemplo>>. Acesso em: 08 mar. 2021.

MACEDO, D. **Metodologia de avaliação do ciclo de vida de sistema construtivos – aplicação em um sistema de estruturado em aço**. Minas Gerais, 2011

MARINS, C. S.; SOUZA, D. D. O.; BARROS, M. D. S. **O uso do método de análise hierárquica (AHP) na tomada de decisões gerenciais - Um estudo de caso**. XLI IGLESIA, T. B. Sistemas construtivos em concreto pré-moldado. **Universidade Anhembi Morumbi-São Paulo-2006**, 2006.

MARINS, C. S.; SOUZA, D. D. O.; BARROS, M. D. S. **O uso do método de análise materiais de construção**. Salvador: Ed. da UFBA, 2001.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. 1º ed. São Paulo: Pini, 1994.

MOLITERNO, A. **Escoramentos, Cimbramentos, Formas para Concreto e Travessias em Estruturas de Madeira**. São Paulo: Edgard Blucher Ltda,

MORIKAWA, M, S. **Materiais alternativos utilizados em fôrmas para concreto armado. 2003. Dissertação (mestrado)** - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil. UNICAMP. Campinas, SP. 2003.

NAKAMURA, J. Fôrmas metálicas para parede de concreto: **Rev. Equipe de**

NAZAR, N. **Fôrmas e escoramentos para edifícios**. – São Paulo; PINI, 2007.

NBR 15696. **Fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto — Projeto, dimensionamento e procedimentos executivos**. Rio de Janeiro, 2009.

NOBELS, K. **Tecnologia Digital em Construção**. Workshop Revista M&T. 2019.

ONU. **A ONU e o meio ambiente**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/91223-onu-e-o-meio-ambiente>. Acesso em: 24 mai 2021.

ORGUEL LOCAÇÃO DE EQUIPAMENTOS. **Proposta comercial de locações**. Curitiba, 2021

ORGUEL LOCAÇÕES DE EQUIPAMENTOS. **Manual técnico fôrmas painel ideal**. Curitiba, 2021

OTOBO, A. O.; SANTANA, A. C.; COSTA, C. F. **Índice De Responsabilidade Socioambiental Empresarial No Distrito Administrativo**. Icoaraci (Daico). Belém. Pará. Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional, 2016. Disponível em: < <http://www.rbgdr.net/revista/index.php/rbgdr/article/view/2131> >. Acesso em: 05 mai. 2021.

PARSEKIAN G. A.; HAMID A. A.; DRYSDALE R. G. **Comportamento e dimensionamento de alvenaria estrutural**. São Carlos, Editora da Universidade Federal de São Carlos, 2012, 625p.

PEREIRA, C. **Principais tipos de sistemas construtivos utilizados na construção civil.** Escola Engenharia, 2018. Disponível em <https://www.escolaengenharia.com.br/tipos-de-sistemas-construtivos/>. Acesso em 05 abril. 2021

PERES, P.O. **Um Estudo Comparativo sobre os Sistemas de Fôrmas: Mesa Voadora X Convencional.** Rio de Janeiro: POLI/UFRJ 2013.

PIANOSKI, J. **Entrevista realizada em campo com o engenheiro civil.** Curitiba. Paraná. 2021.

RODRIGUES, Reinaldo Luan. **Melhoria do desempenho ambiental através da avaliação do ciclo de vida na fabricação de porta pallets.** 2016. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2016. Disponível em: [http://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1960/1/PG\\_PPGEP\\_M\\_Rodrigues%2c%20Reinaldo%20Luan\\_2016.pdf](http://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1960/1/PG_PPGEP_M_Rodrigues%2c%20Reinaldo%20Luan_2016.pdf). Acesso em: 05 ago 2021.

ROY, B. **Multicriteria methodology for decision aiding.** Springer Science & Business Media. 2013.

RUSCHEL, Rony. **Curso Básico de Concreto Armado.** Porto Alegre: Editora Globo, 1974.

SAATY, T. L. (1980). **The analytic hierarchy process.** New York: McGraw-Hill. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9781118445112.stat05310>>. Acesso em: 05 mai 2021.

SAATY, T. L. **Decision making with the analytic hierarchy process.** Int. J. Services Sciences, Pittsburgh, v. 1, n. 1ª Edição, p. 83-98, 2008.

SALESSE, J. M. **Comparação de custos entre os processos construtivos em concreto armado e em alvenaria estrutural em blocos de concreto: estudo de caso em Toledo, PR.** 2012. 45 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, 2012.

SANTOS, L. F.; CRUZ, R. B. C. **O Uso do Mé todo AHP na Tomada de Decisão para Seleção de Sistemas de Lajes de Edifícios Comerciais.** Engenharia Estudo e Pesquisa, Rio de Janeiro, 13, n. 1, Jan/Jun 2013. 39-52.

SARTORI, S. LATRONICO, Fernanda; CAMPOS, Lucila M.S.. **Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável: uma taxonomia no campo da literatura.** Ambient. soc., São Paulo , v. 17, n. 1, p. 01-22, Mar. 2014 . Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1414-753X2014000100002&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1414-753X2014000100002&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 27 abr. 2021.

SBPO 2009. Porto Seguro - BA: SOBRAPO. 2009. p. 1778-1788. obra ed. 63, Setembro 2013.



SENADO FEDERAL. **ONU estabelece três pilares para o desenvolvimento sustentável dos países: econômico, social e ambiental.** Disponível em: <<https://www.senado.gov.br/noticias/Jornal/emdiscussao/rio20/temas-em-discussao-na-rio20/onu-estabelece-tres-pilares-para-o-desenvolvimento-sustentavel-dos-paises-economico-social-e-ambiental.aspx>>. Acesso em: 12 mar. 2021.

SH FÔRMAS, ANDAIMES E ESCORAMENTOS LTDA. **Manual SH de fôrmas para concreto e escoramentos metálicos.** São Paulo: Pini, 2008.  
SILVA, A. **Método AHP – 2018.** Disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=72b2eAHSCLQ>> . Acesso em: 24 de agosto de 2021.

SINDUSCON RS. **Guia de Sustentabilidade na Construção Civil no Rio Grande do Sul.** 2016. Sindicato da indústria da construção e mobiliário do rio grande do sul. Disponível em: <[http://abesc.org.br/wp-content/uploads/2016/08/Cartilha\\_Sustentabilidade\\_WEB.pdf](http://abesc.org.br/wp-content/uploads/2016/08/Cartilha_Sustentabilidade_WEB.pdf)>. Acesso em: 24 abr. 2021.

SINTRACON. Curitiba, 2021. **Classificação profissional.** Disponível em <<https://www.sintraconcuritiba.org.br/Default/Interna/10/classificacao-profissional>>. Acesso em: 22 de agosto de 2021

SINTRACON. Curitiba, 2021. **Piso salarial construção civil 2021.** Disponível em <<https://www.sintraconcuritiba.org.br/files/1169/Tabela%20%20piso.constru%C3%A7%C3%A3o%20civil.2021.pdf>>. Acesso em: 24 de agosto de 2021

SOUSA, J. V.; DE BARROS, T. J., DE MELO, Fagner José Coutinho; DE AQUINO, Joás Tomaz. **Uso do AHP para identificação de perdas da qualidade em empresas de manufatura: um estudo de caso.** Exacta. 2017, 15(1), 89-100. ISSN: 1678-5428. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81050129007>>. Acesso em: 8 mai 2021.

SOUZA, R. et al. **Qualidade na aquisição de materiais e execução de obra.** São Paulo: Pini, 1996.

SOUZA, U. E. Lemes de; AGOPYAN, Vahan. **Estudo da produtividade da mão-de-obra no serviço de fôrmas para estruturas de concreto armado.** São Paulo: EPUSP 1996. 15p. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/581).

TAVARES, Sérgio Fernando. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de 193 edificações residenciais brasileiras.** 2006. 225 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

TECHIO, E. M.; GONCALVES, Jardel Pereira; COSTA, Poliana Neres. **Representação Social Da Sustentabilidade Na Construção Civil: A Visão De Estudantes Universitários**. Ambient. soc., São Paulo , v. 19, n. 2, p. 187-204, Junho 2016 . Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1414-753X2016000200187&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1414-753X2016000200187&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 27 Abr. 2021.

TEODORO, N. F. G.. **Contribuição para a Sustentabilidade na Construção Civil: Reciclagem e Reutilização de Materiais**. Universidade Técnica de Lisboa, 2011. Disponível em: <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395143118002/dissertacao.pdf>>. Acesso em: 24 Abr. 2021.

TUBOMINAS. Curitiba, 2021. Disponível em: < <https://tubominas.com.br/formas-de-papelao/>>. Acesso em: 24 de maio de 2021.

VARGAS, L. G. **An overview of the Analytic Hierarchy Process and its applications**. *European Journal of Operational Research*. 48(1), 2-8. 1990. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90056-H](http://dx.doi.org/10.1016/0377-2217(90)90056-H)>. Acesso em: 05 de maio de 2021.

VARGAS, R. **Utilizando a programação multicritério (AHP) para selecionar e priorizar projetos na gestão de portfólio**. PMI Global Congress - North America. Washington: Project Management Institute. 2010. Disponível em: < [http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/9017/1/CT\\_COECI\\_2017\\_1\\_12.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/9017/1/CT_COECI_2017_1_12.pdf)>. Acesso em: 24 mai 2021.