

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
CENTRO DE TECNOLOGIA – CTEC  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

TAYNAN LIMA DE MORAES REGO

**AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA DE EXECUÇÃO DE ESTRUTURA DE  
CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE CASO EM UMA RESIDÊNCIA**

Maceió/AL

2021

TAYNAN LIMA DE MORAES REGO

AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA DE EXECUÇÃO DE ESTRUTURA DE  
CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE CASO EM UMA RESIDÊNCIA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao colegiado de Engenharia Civil do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientador: Prof. Dra. Karoline Alves de Melo Moraes

Maceió/AL

2021

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico**  
Bibliotecária: Taciana Sousa dos Santos – CRB-4 – 2062

R343a Rego, Taynan Lima de Moraes.  
Avaliação de ciclo de vida de execução de estrutura de concreto armado:  
estudo de caso em uma residência / Taynan Lima de Moraes Rego. – 2022.  
58 f. : il. color.

Orientadora: Karoline Alves de Melo Moraes,  
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil)  
– Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2021.

Bibliografia: f. 57-58.

1. Impactos ambientais. 2. Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). 3.  
Concreto armado. I. Título.

CDU: 691.328.1



## ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Às 10h00 do dia 25 de fevereiro de 2022, na sala virtual do Google Meet (<http://meet.google.com/hes-dgvi-ycy>), reuniu-se a banca examinadora para avaliação e defesa do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) do aluno TAYNAN LIMA DE MORAES REGO, sob o título “AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA DE ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE CASO EM UMA RESIDÊNCIA DE ALTO PADRÃO”, composta pelos seguintes participantes:

Orientadora: Profa (A<sub>1</sub>) Karoline Alves de Melo Moraes,

Prof Avaliador (A<sub>2</sub>) Edvaldo Monteiro Lisbôa

Prof Avaliador (A<sub>3</sub>) Flávio Barboza de Lima

A apresentação oral do aluno foi realizada em 23 minutos, findos os quais foi iniciado o debate, perfazendo um tempo total de defesa de 1 hora e 35 minutos.

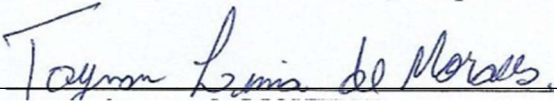
O aluno obteve média final 8,4 (oito vírgula quatro).

Abaixo, assinatura do orientador, seguida dos membros da banca, de acordo com a ordem listada acima, todos seguidos da respectiva nota, a assinatura do aluno e a assinatura do Coordenador do TCC.

Prof(a) (A<sub>1</sub>)  , nota final 8,4 (oito vírgula quatro)

Prof(a) (A<sub>2</sub>)  , nota final 8,4 (oito vírgula quatro)

Prof(a) (A<sub>3</sub>)  , nota final 8,4 (oito vírgula quatro)

Aluno: 

Coordenador do TCC: \_\_\_\_\_



## RESUMO

Dado que o atendimento às aspirações e necessidades humanas geram demanda por construções, que implicam em impactos ambientais, e este setor industrial é um dos maiores consumidores de recursos naturais, se faz necessário a utilização de uma metodologia que possibilite a quantificação dos impactos gerados. A ACV estuda os aspectos ambientais e os impactos potenciais ao longo da vida de um produto. Sabe-se que um sistema de produto compreende inúmeros processos unitários e a ACV demandaria o manejo de uma quantidade massiva de dados. Para solucionar esse problema, foi desenvolvida uma variedade de *softwares* com o intuito de facilitar a realização dos cálculos de balanço de massa e energia. O presente trabalho consiste na realização de ACV da estrutura de concreto armado de uma residência da Barra de São Miguel - AL, através do uso do *software* OpenLCA com o suporte das bases de dados ELCD europeia e USDA americana, bem como a quantificação dos impactos ambientais, com o auxílio do método de análise CML *baseline*, gerados pela execução da estrutura. A formulação utilizada para o levantamento foi definida com base nos critérios de execução que demandaram os materiais em análise. A partir dos dados apresentados, é possível perceber que quando os impactos são normalizados pelo volume de concreto produzido, todos os elementos estruturais geram impactos praticamente iguais por m<sup>3</sup> de concreto. Com a realização da Avaliação do Ciclo de Vida da estrutura, foi possível quantificar os impactos ambientais associados à mesma, destacando os valores de *Marine aquatic ecotoxicity*, *Global Warming* e *Human toxicity*. Enquanto a normalização pelo volume de concreto permitiu perceber a relação direta entre os impactos e o consumo de matéria-prima.

**Palavras-chave: ACV, estrutura, concreto armado, OpenLCA.**

## **ABSTRACT**

Given that meeting human aspirations and needs generates demand for buildings that imply environmental impacts and this industrial sector is one of the biggest consumers of natural resources it is necessary to use a methodology that makes it possible to quantify the impacts generated. The LCA studies environmental aspects and potential impacts over the life of a product. It is known that a product system comprises numerous unit processes and the LCA would require handling a massive amount of data, to solve this problem a variety of software was developed in order to facilitate the performance of mass and energy balance calculations. The present work consists in carrying out an LCA of the reinforced concrete structure of a high-end residence, using the OpenLCA software with the support of the European ELCD and American USDA databases as well as the quantification of environmental impacts, with the aid of the CML baseline analysis method, generated by the execution of the structure. The formulation used for the survey was defined based on the execution criteria that required the materials under analysis. From the data presented, it is possible to see that when the impacts are normalized by the volume of concrete produced, all structural elements generate practically equal impacts per m<sup>3</sup> of concrete. By carrying out the Life Cycle Assessment of the structure, it was possible to quantify the environmental impacts associated with it, highlighting the values of Marine aquatic ecotoxicity, Global Warming and Human toxicity. While the normalization by the volume of concrete allowed to perceive the direct relationship between the impacts and the consumption of raw material.

**Keywords: LCA, structure, reinforced concrete, OpenLCA.**

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ciclo de vida de produção .....	15
Figura 2 – Fases de uma ACV .....	16
Figura 3 – Tela de iniciação do software OpenLCA .....	17
Figura 4 - Esquema de fôrma para viga de concreto armado .....	20
Figura 5 - Camada de matéria orgânica presente no solo .....	22
Figura 6 – Distribuição de matéria orgânica no terreno.....	22
Figura 7 - Projeto arquitetônico térreo .....	23
Figura 8 - Projeto arquitetônico do pavimento superior.....	24
Figura 9 - Projeto de locação das estacas e blocos de coroamento .....	25
Figura 10 - Esquema de painel de madeira para viga .....	27
Figura 11 - Esquema de painel de “fundo de viga” .....	27
Figura 12 - Esquema de fôrma de pilar .....	30
Figura 13 - Projeto de formas do pavimento térreo .....	32
Figura 14 - Projeto de fôrmas do pavimento superior .....	33
Figura 15 - Projeto de fôrmas do pavimento coberta .....	34
Figura 16 – Fluxos de processo dos insumos .....	49
Figura 17 – Fluxos de processo da estrutura .....	50
Figura 18 – Modelagem gráfica dos sistemas de produto .....	51
Figura 19 - Estudo comparativo entre os elementos de superfície.....	55

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas  
ACV – Avaliação do Ciclo de Vida  
ADP – Potencial de Depleção de Recursos Abióticos  
AICV – Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida  
AP – Potencial de Acidificação  
CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico  
ELCD - European reference Life Cycle Database  
EP – Potencial de Eutrofização  
FAETP – Potencial de Ecotoxicidade em Águas Doces  
GWP100 – Potencial de Aquecimento Global  
HTP – Potencial de Toxicidade Humana  
ICV – Inventário de Ciclo de Vida  
ISO - International Organization for Standardization  
LEMA – Laboratório de Estruturas e Materiais  
MAETP – Potencial de Ecotoxicidade em Águas Marinhas  
ODP – Potencial de Depleção da Camada de Ozônio  
POCP – Potencial de Criação Fotoquímica de Ozônio  
TETP – Potencial de Ecotoxicidade Terrestre  
USDA - United States Department of Agricultur

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Métodos de AICV e suas origens.....	18
Quadro 2 - Categorias de impacto analisadas por Paula (2016).....	19

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Levantamento de fôrmas, blocos de coroamento .....	35
Tabela 2 - Levantamento de fôrmas, vigas baldrame .....	36
Tabela 3 - Levantamento de fôrmas, vigas do pavimento superior .....	37
Tabela 4 - Levantamento de fôrmas, vigas da cobertura .....	38
Tabela 5 - Levantamento de fôrmas, vigas da caixa d'água .....	38
Tabela 6 - Levantamento de fôrmas dos pilares .....	39
Tabela 7 - Levantamento de aço dos blocos.....	40
Tabela 8 - Levantamento de aço dos arranques .....	40
Tabela 9 - Levantamento de aço dos pilares.....	41
Tabela 10 - Levantamento de aço das vigas baldrame.....	41
Tabela 11 - Levantamento de aço das vigas do pavimento superior .....	42
Tabela 12 - Levantamento de aço das vigas da cobertura e caixa d'água.....	43
Tabela 13 - Levantamento de nervuras e lajotas do pavimento superior .....	44
Tabela 14 - Levantamento de nervuras e lajotas da cobertura .....	45
Tabela 15 - Inventário Geral da estrutura.....	46
Tabela 16 - Inventário de Ciclo de Vida por etapa .....	48
Tabela 17 - Impactos ambientais por etapa .....	52
Tabela 18 - Impactos ambientais associados à estrutura .....	52
Tabela 19 - Impactos ambientais por m <sup>3</sup> dos elementos de superfície .....	53
Tabela 20 - Impactos ambientais por m <sup>3</sup> dos elementos de fundação .....	53
Tabela 21 - Impactos ambientais por m <sup>3</sup> dos elementos lineares .....	54
Tabela 22 - Impactos ambientais por m <sup>3</sup> da estrutura .....	54

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>10</b>
1.1	COMENTÁRIOS INICIAIS	10
1.2	OBJETIVOS	11
1.3	JUSTIFICATIVA	12
1.4	DELIMITAÇÃO DO TRABALHO	12
<b>2</b>	<b>AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA</b>	<b>14</b>
2.1	AVALIAÇÃO DE IMPACTOS DE CICLO DE VIDA	15
2.2	FERRAMENTAS DE ANÁLISE DE ACV	17
2.3	CONCRETO ARMADO	19
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>21</b>
3.1	CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO	21
3.2	FORMULAÇÃO	26
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>35</b>
4.1	LEVANTAMENTOS	35
4.2	AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA (ACV)	45
4.3	Inventário de Ciclo de Vida (ICV)	46
4.4	Utilização do software	48
4.5	ANÁLISE DOS DADOS	51
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>56</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>57</b>

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 COMENTÁRIOS INICIAIS

A satisfação das necessidades humanas é o que rege as cadeias dos bens de produção e é foco central de qualquer atividade produtiva, sendo de fundamental importância para o desenvolvimento sustentável da humanidade. A obra *Nosso Futuro Comum* (1988), no capítulo 2, *Em Busca do Desenvolvimento Sustentável*, aponta estratégias imperativas que discutem a necessidade de atenção no atendimento às Necessidades Essenciais Humanas, ressaltando que é notória a diferença de desgaste ambiental nas demandas das diferentes classes sociais, de modo que o atendimento das aspirações dos que ocupam posições sociais mais elevadas pode representar consequências maiores para o meio ambiente.

Com a revolução industrial, iniciada no século XX e com o incentivo ao desenvolvimento pelo governo de Getúlio Vargas, em 1930 (SANTOS, 2021), sucedeu-se a intensa necessidade de infraestrutura que comportasse a indústria brasileira, implicando na construção de polos industriais, acessos, pontes e obras de drenagem e contenção. Entre os efeitos negativos da industrialização pode-se ressaltar o êxodo rural e o aumento da ida de imigrantes para as grandes cidades (FREITAS, 2021), que desencadearam um processo de acúmulo populacional nos centros urbanos, onde os indivíduos possuíam mais oportunidades. Isto repercutiu no desenvolvimento urbano, visto que era necessário comportar um maior número de pessoas num espaço limitado, influenciando as configurações arquitetônicas urbanas de forma que as construções verticais se tornaram cada vez mais presentes. De acordo com Ramires (1998), uma das características comuns nos estudos da verticalização nas cidades brasileiras é que esta é um fato típico dos tempos modernos.

A necessidade de construção desse grande número de habitações, leva também ao grande consumo de recursos naturais, o que pode desencadear a sua escassez, acompanhado da geração de resíduos, causando grandes impactos ao meio ambiente. Segundo Vanderley *et al.* (2020), reduzir impactos ambientais é um dos desafios da atualidade que exige grandes transformações das cadeias industriais, na qual a construção civil tem um papel fundamental.

Sabe-se que existe uma ampla busca por materiais que auxiliam na redução do consumo dos recursos naturais, bem como a demanda, por parte dos profissionais,



de ferramentas práticas que auxiliem na identificação de impactos, possíveis melhorias no produto ou processo e em tomadas de decisões mais assertivas.

Dependendo do tipo de finalidade da obra, as estruturas apresentam uma certa flexibilidade quanto ao material, madeira, aço, concreto ou alvenaria estrutural, entretanto, as de concreto se destacam pela sua alta durabilidade e adaptabilidade, que permitem as mais variadas formas visto que o concreto em estado fresco pode ser moldado (BASTOS, 2019).

Aliar a escolha dos diferentes materiais está relacionado às propriedades requeridas, porém, podem estar associadas também aos impactos ambientais causados, sendo um fator que tem ganhado atenção na construção civil. Uma das formas de medir o aspecto da sustentabilidade relacionado a uma construção é a metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), preconizada pela NBR 14040 (ABNT, 2009a), que estuda os aspectos ambientais e os impactos potenciais ao longo do tempo de vida de um produto e pode servir como ferramenta de identificação de melhorias e auxiliar na tomada de decisões.

A NBR ISO 14044 (ABNT, 2009b) discorre acerca das disposições gerais de uma ACV e apresenta, no seu anexo A, uma série de exemplos de folhas de dados que servem como orientação para a coleta de dados de parâmetros a serem avaliados. Entretanto, sabe-se que a produção de um bem de consumo envolve a realização de inúmeros processos unitários, o que tornaria esta coleta dispendiosa. Sendo assim, foi desenvolvida uma variedade de *softwares* com o objetivo de auxiliar nos estudos de ACV funcionando como facilitador para a realização dos cálculos de balanço de massa e energia (CAMPOLINA *et al.*, 2015), bem como viabilizar comparações entre ciclos de vida de produtos e principalmente realizar análise dos impactos associados aos produtos, que dependem dos dados e métodos de análise de impactos fornecidos por bases de dados com parâmetros previamente coletados.

## 1.2 OBJETIVOS

Este trabalho tem por objetivo a análise de fluxos, através da Avaliação de Ciclo de Vida, da execução da estrutura de concreto armado de uma residência localizada na Barra de São Miguel - AL, quantificando os impactos ambientais associados.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

Dado que o atendimento às aspirações e necessidades humanas geram demanda por construções, que implicam em impactos ambientais, e este setor industrial é um dos maiores consumidores de recursos naturais, se faz necessário a utilização de uma metodologia que possibilite a quantificação dos impactos gerados.

Entre as pesquisas realizadas, foi possível observar a carência de estudos de ACV sobre concreto armado. Foram encontradas referências sobre esse tipo de estudo para peças estruturais específicas, como é visto em Lamberti *et al.* (2017) a utilização da técnica em um pilar com diferentes traços, e em Bento (2016) para um modelo teórico de edificação em que a análise contribuía para o dimensionamento. Não foram encontrados trabalhos sobre a execução de estruturas reais em que se encontrassem quantificados os impactos associados.

Além disso, a utilização de ferramentas para ACV pode auxiliar na identificação de pontos de melhoria de desempenho ambiental de uma edificação e na tomada de decisões segundo a NBR 14044 (ABNT, 2009b).

O trabalho visa quantificar os impactos ambientais associados à execução de uma estrutura de concreto armado, de forma a estabelecer parâmetros de comparação para análise de desempenho ambiental de estruturas similares, apresentando metodologia para o levantamento dos insumos e fluxos de processos que o serviço engloba. Espera-se contribuir para o desenvolvimento de estudos sobre ACV e no fomento ao Banco Nacional de Inventários de Ciclo de Vida (SICV Brasil), através da disponibilização dos processos e sistemas de produtos criados, nas bases de dados gratuitas disponíveis.

### 1.4 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho consiste na realização de ACV da estrutura de concreto armado de uma residência da Barra de São Miguel - AL, através do uso do *software* OpenLCA com o suporte das bases de dados ELCD europeia e USDA americana, bem como a quantificação dos impactos ambientais, com o auxílio do método de análise CML baseline, gerados pela execução da estrutura.

Não será abordado o processo de concepção de projeto, somente se apresentará o projeto em questão e se discorrerá sobre a quantificação de material.

Será feita a Avaliação do Ciclo de Vida somente da estrutura principal da casa, a partir dos blocos de coroamento. Não serão considerados outros elementos em concreto,

como escada, piscina e o estaqueamento de fundação. Também não foram considerados elementos acessórios à execução da estrutura, como escoramentos e espaçadores, tampouco os componentes de vedação e acabamento.

## 2 AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA

De acordo com a NBR 14040 (ABNT, 2009a), a crescente tendência de conscientização sobre a importância da proteção ambiental tem contribuído para o aumento no interesse pelo desenvolvimento de métodos que auxiliem a compreensão e diminuição dos impactos associados a determinado produto. Este não se refere apenas a um bem material, mas também a um serviço prestado dado que mesmo sendo um serviço, existem processos inerentes à execução que geram impactos ambientais tais como transporte, consumo de energia e geração de resíduos.

De acordo com a referida norma, a Avaliação de Ciclo de Vida é uma técnica usada para avaliar aspectos ambientais e impactos potenciais associados a um produto, apoiada na compilação de um inventário de entradas e saídas pertinentes do sistema do produto, a avaliação dos impactos ambientais associados a esses fluxos e na interpretação dos resultados das fases de análise de inventário e impactos.

A ACV estuda os aspectos ambientais e os impactos potenciais ao longo da vida de um produto (isto é, do “berço ao túmulo”), desde a aquisição da matéria-prima, passando por produção, uso e disposição. As categorias gerais de impactos ambientais que necessitam ser consideradas incluem o uso de recursos, a saúde humana e as consequências ecológicas (ABNT, NBR 14.040 pág. 2)

A metodologia se apresenta como suporte na identificação de oportunidades de melhoria de aspectos ambientais de produtos ao longo de sua linha de produção, na tomada de decisões na indústria e organizações em planejamento estratégico e estabelecimento de prioridades, na seleção de indicadores representativos de desempenho ambiental e técnicas de medição, e ainda pode auxiliar no marketing (ABNT, 2009b).

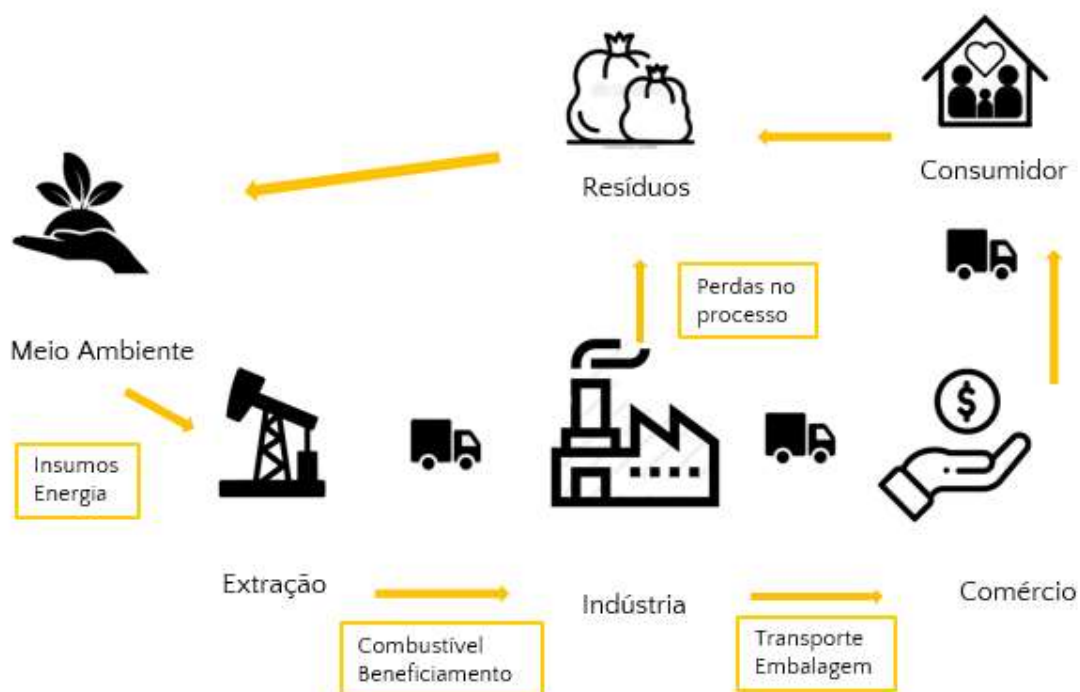
De acordo com Bento (2016), em geral todos os processos e fluxos atribuídos ao sistema estudado devem ser incluídos nas fronteiras do sistema, entretanto nem todos são quantitativamente relevantes. Isto possibilita a utilização de dados estimados para os fluxos e processos menos relevantes, bem como a desconsideração dos irrelevantes.

De forma geral, o ciclo de vida de um bem de produto ou serviço se inicia com a extração de matéria prima do meio ambiente, através de processos que envolvem o consumo de energia e combustível com transporte de pessoal e maquinário específico, além disso, em alguns casos há também o gasto com insumos relacionados à extração de matéria prima.

Em seguida, após a extração, a matéria prima é transportada até a indústria, gerando gastos com combustível, onde será processada de acordo com a metodologia própria do produto a ser concebido, por meio de processos que geram perdas ou resíduos, os quais serão destinados à deposição no meio ambiente.

Depois de produzido, o bem material é embalado e transportado ao comércio que destinará o produto ao consumidor final. Após o fim da utilização ou ao findar da vida útil do produto, este será descartado como resíduo e será destinado à deposição no meio ambiente, conforme ilustra a figura1.

Figura 1 – Ciclo de vida de produção

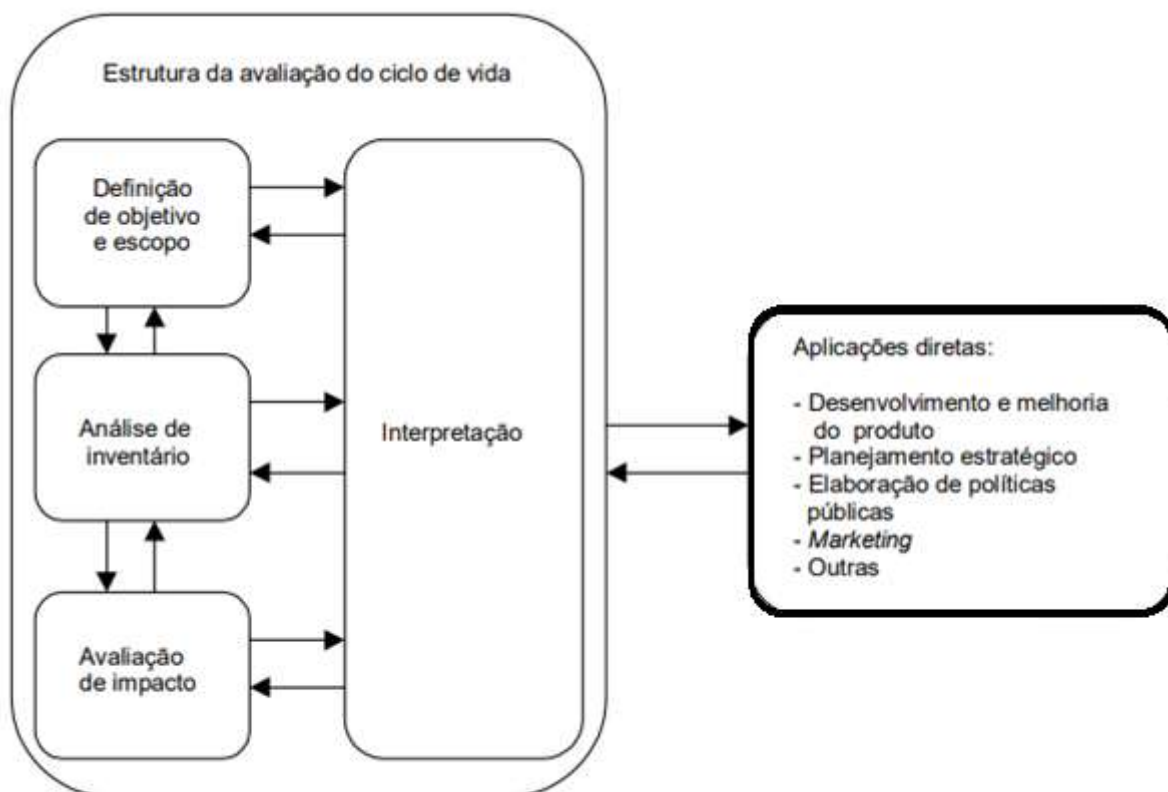


Fonte: Autor (2021)

## 2.1 AVALIAÇÃO DE IMPACTOS DE CICLO DE VIDA

A NBR 14040 (ABNT, 2009a) define que uma ACV deve ser, obrigatoriamente, composta pela definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impactos e interpretação de resultados, conforme ilustrado na figura 2.

Figura 2 – Fases de uma ACV



Fonte: Adaptado de ABNT, 2009a

Vanderley *et al.* (2020) discorrem sobre como a ACV funciona a partir do inventário dos fluxos de entrada e saída de matéria e energia, mas ressaltam que a realização do inventário de ciclo de vida completo de um produto demanda uma grande quantidade de dados englobando toda a cadeia de suprimentos. Para viabilizar a ACV, grande parte da medição dos fluxos foi substituída pelo respaldo em bases de dados secundárias, medidos majoritariamente na Europa. Alguns países, incluindo o Brasil, carecem de um método de análise que levem em consideração as suas características regionais, sendo assim, costuma-se utilizar métodos que avaliem categorias de impactos globais.

Uma proposta de metodologia simplificada baseada na ACV surgiu no Grupo de Trabalho de Materiais do Conselho Brasileiro de Construção Sustentável - CBCS (2014), intitulada como ACV modular, que estabeleceu diretrizes de medição baseadas em impactos mais urgentes. Essa metodologia estabelece para medição, os indicadores de desempenho mínimos, consumo de energia, consumo de água,

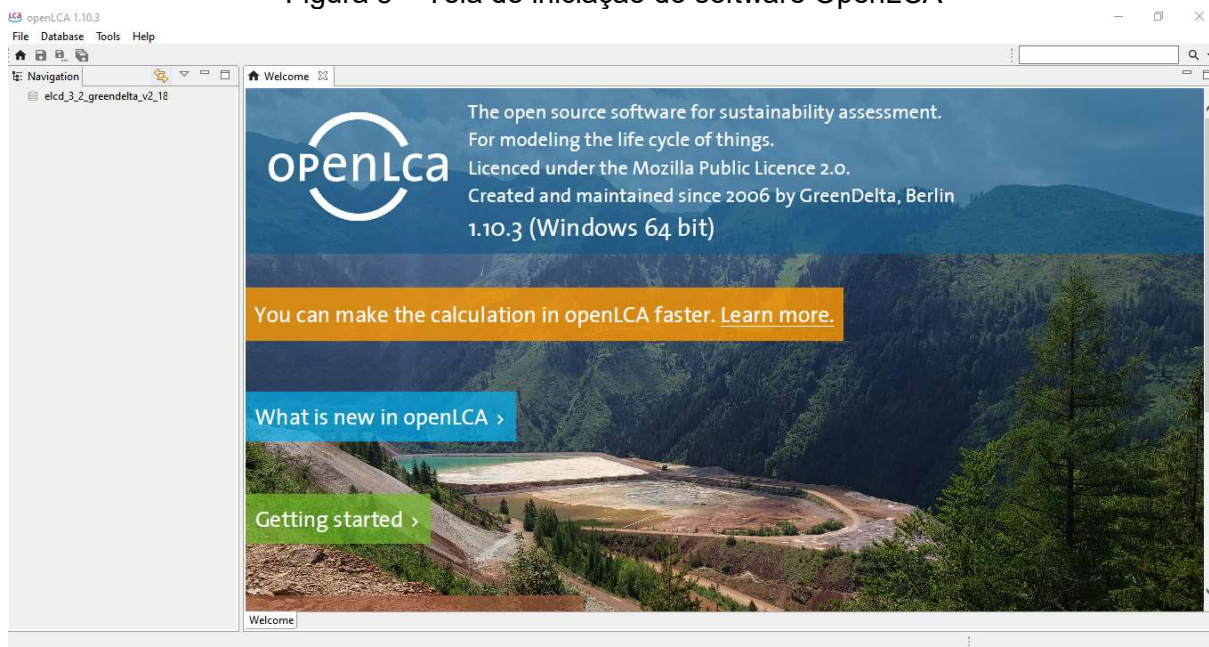
consumo de recursos (exceto água e energia), geração de resíduos e emissões de  $CO_2$ .

## 2.2 FERRAMENTAS DE ANÁLISE DE ACV

Sabe-se que um sistema de produto compreende inúmeros processos unitários e a ACV demandaria o manejo de uma quantidade massiva de dados. Para solucionar esse problema, foi desenvolvida uma variedade de *softwares* com o intuito de facilitar a realização dos cálculos de balanço de massa e energia. Estes auxiliam a interpretação das informações através de gráficos, fluxogramas e tabelas, além de possibilitarem a criação de inventários de forma digital e compartilhamento via base de dados (CAMPOLINA *et al.*, 2015)

Ferreira (2015) discorre sobre a utilização do *software* OpenLCA (figura 3), que permite o cálculo de impactos ambientais, na saúde, na economia e comparações de utilização de energia, bem como permite a análise simplificada de sistemas que não envolvem produtos físicos e gera gráficos dos processos envolvidos.

Figura 3 – Tela de iniciação do software OpenLCA



Fonte: *Print Screen* OpenLCA, elaboração autoral, (2021)

Mendes *et al.* (2013) discorre sobre as diferentes metodologias de Avaliação de Impactos de Ciclo de Vida (AICV), com destaque para o nível de avaliação de impacto dividido em “midpoint” e “endpoint”. No primeiro, são usados indicadores localizados

ao longo do mecanismo ambiental antes de chegar ao ponto final, que seria o aspecto que identifica uma questão ambiental merecedora de atenção; no segundo, a caracterização considera todo o mecanismo ambiental até seu ponto final, referindo-se a um dano específico relacionado a uma área mais ampla de proteção. Ao longo dos trabalhos, foram analisados 13 métodos de Avaliação de Impactos de Ciclo de Vida (quadro 1) utilizados em todo o mundo, inclusive no Brasil. Paula (2016) utilizou em seu trabalho a metodologia de ACV com vistas ao desempenho ambiental de traços de argamassas e concreto, o quadro 2 relaciona as categorias de impacto utilizadas, no método de AICV, CML-IA.

Quadro 1 - Métodos de AICV e suas origens

<b>Método</b>	<b>Origem</b>
CML 2002	Holanda
Eco-indicator 99	Holanda
Ecological Scarcity	Suíça
EDIP97 - EDIP 2003	Dinamarca
EPS 2000	Suécia
Impact 2002+	Suíça
LIME	Japão
LUCAS	Canadá
MEEuP	Holanda
ReCiPe	Holanda
TRACI	Estados Unidos
USEtox	Programa Iniciativa do Ciclo de Vida da UNEP - SETAC
IMPACT World+	Canadá, Estados Unidos, Suíça, Dinamarca e França

Fonte: MENDES *et al.* (2013)



Quadro 2 - Categorias de impacto analisadas por Paula (2016)

<b>SIGLA</b>	<b>CATEGORIA DE IMPACTO</b>
AP	Acidificação
GWP100	Mudanças climáticas
ADP	Depleção de recursos abióticos - elementos reserva final
ADP-ff	Depleção de recursos abióticos - combustíveis fósseis
EP	Eutrofização
FAETP	Ecotoxicidade em águas doces
HTP	Toxicidade Humana
MAETP	Ecotoxicidade marinha
ODP	Depleção do ozônio estratosférico
POCP	Formação de foto-oxidantes
TETP	Ecotoxicidade terrestre

Fonte: PAULA (2016)

### 2.3 CONCRETO ARMADO

De acordo com Bunder (2016), a primeira concepção de concreto é datada 300 a.c, no império romano, sendo este composto por agregados (provenientes de rochas calcárias), areia, cal, pozolana e água. Ressalta também a larga evolução construtiva do império romano com o surgimento de formas abobadadas, utilização de arcos além de plataformas de concreto como fundação. Ainda, aponta a primeira associação da pedra ao ferro em 1770 na construção da igreja de Santa Genoveva em Paris, com os primeiros indícios de entendimento e compreensão de esforços de tração e compressão na estrutura.

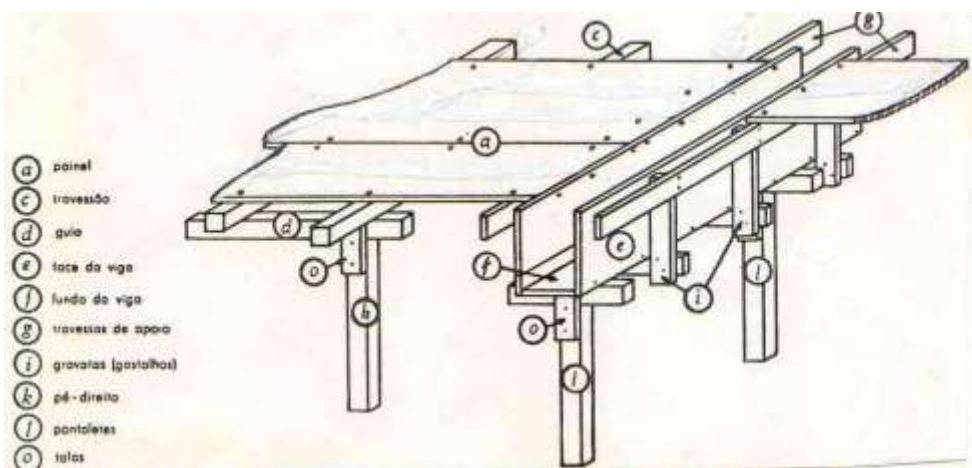
O concreto é um material composto formado por cimento, agregado miúdo (areia), agregado graúdo (pedra ou brita) e água, que possui propriedades fluidas em estado fresco e apresenta alta resistência mecânica e módulo de elasticidade quando endurecido. É obtido através de uma cuidadosa dosagem que define as quantidades dos componentes a fim de proporcionar ao concreto as características desejadas (BASTOS, 2019).

A NBR 6118 (ABNT, 2014) define como elementos de concreto armado aqueles cujo comportamento estrutural depende da aderência entre concreto e armadura, isenta de alongamentos prévios ao estabelecimento desta aderência. Estes elementos devem ser providos de armadura de aço em porcentagem igual ou superior à mínima exigida pela norma.

No Brasil, o dimensionamento de peças de concreto armado é regido pela NBR 6118 (ABNT, 2014). Este apresenta elevada resistência à compressão e consegue suportar uma boa quantidade de esforços de tração devido às armaduras, pode ser moldado de diversas maneiras e formatos atribuindo grande flexibilidade ao material.

A confecção de um elemento estrutural em concreto armado passa pelo processo de criação dos moldes (fôrmas) e corte e dobra das armações, em seguida as armaduras são posicionadas nos moldes (figura 4) para então o concreto fresco ser lançado para preencher as fôrmas e envolver a armadura enquanto o adensamento é executado simultaneamente. Após a cura e endurecimento do concreto, as fôrmas são retiradas originando a peça de concreto armado (BASTOS, 2019).

Figura 4 - Esquema de fôrma para viga de concreto armado



Fonte: Barros, Melhado (1998)

Desta forma, sabe-se que para a execução de uma estrutura de concreto armado, haverá gastos com o aço para as armaduras, com cimento, areia e brita para o concreto e com madeira entre sarrafos, barrotes, tábuas, placas de compensado e pregos para a confecção e escoramento das fôrmas.

De acordo com Bento (2016), a ACV do concreto e suas matérias primas continua sendo uma linha de pesquisa limitada, apesar da expansão do número de estudos nos anos recentes. Fatores como a carência de dados sobre os impactos ambientais do ciclo de vida de materiais além do cimento Portland, bem como a falta de dados que reflitam variações tecnológicas e geográficas e a falta de padronização da unidade funcional, tem se mostrado como entraves na evolução dos estudos de ACV.

### 3 METODOLOGIA

O presente trabalho consiste no estudo de caso de uma residência situada na Barra de São Miguel, Alagoas, executada no ano de 2021. Esta obra serviu como fonte de dados para o estudo realizado.

Para a análise em questão foi utilizado como auxílio o *software* OpenLCA e o método de avaliação de impactos de ciclo de vida (AICV) escolhido foi o CML *baseline*, que é um método amplamente utilizado e difundido na literatura por possuir categorias de impactos globais. As bases de dados utilizadas como suporte foram a ELCD europeia e a USDA americana.

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

O empreendimento consiste numa residência unifamiliar num terreno de 456,45 m<sup>2</sup>, composta por um pavimento térreo de 179,80 m<sup>2</sup> e um mezanino de 115,80 m<sup>2</sup>, totalizando uma área construída de 295,60 m<sup>2</sup>, com cobertura executada em laje impermeabilizada. A estrutura é toda em concreto armado, composta por 24 pilares apoiados em 25 blocos de coroamento interligados a 6 estacas de 4 m, 5 estacas de 6 m e um total de 15 estacas de 9 m.

Tais configurações foram adotadas devido ao fato de que o solo do terreno era extremamente crítico. Ao longo do processo de dimensionamento, com o auxílio dos ensaios preliminares e de SPT foi possível identificar a ocorrência de uma grande camada de matéria orgânica frágil, com cascas de massunim, que se estendia por toda a área do terreno com espessura variada com média de 4 m de profundidade, condicionante que limitava o uso do solo mais próximo da superfície, sendo fator de extrema importância na escolha do tipo da fundação. Vale ressaltar que em alguns pontos de execução da fundação foi possível identificar que a camada de matéria orgânica se aprofundava um pouco mais e por isso foi necessário aumentar a profundidade de assentamento das estacas em questão, fazendo com que 6 (seis) estacas tivessem seu comprimento estendido em 1 m. As figuras 5 e 6 ilustram as referidas condições do terreno observadas *in loco*.

Figura 5 - Camada de matéria orgânica presente no solo



Fonte: Autor (2021)

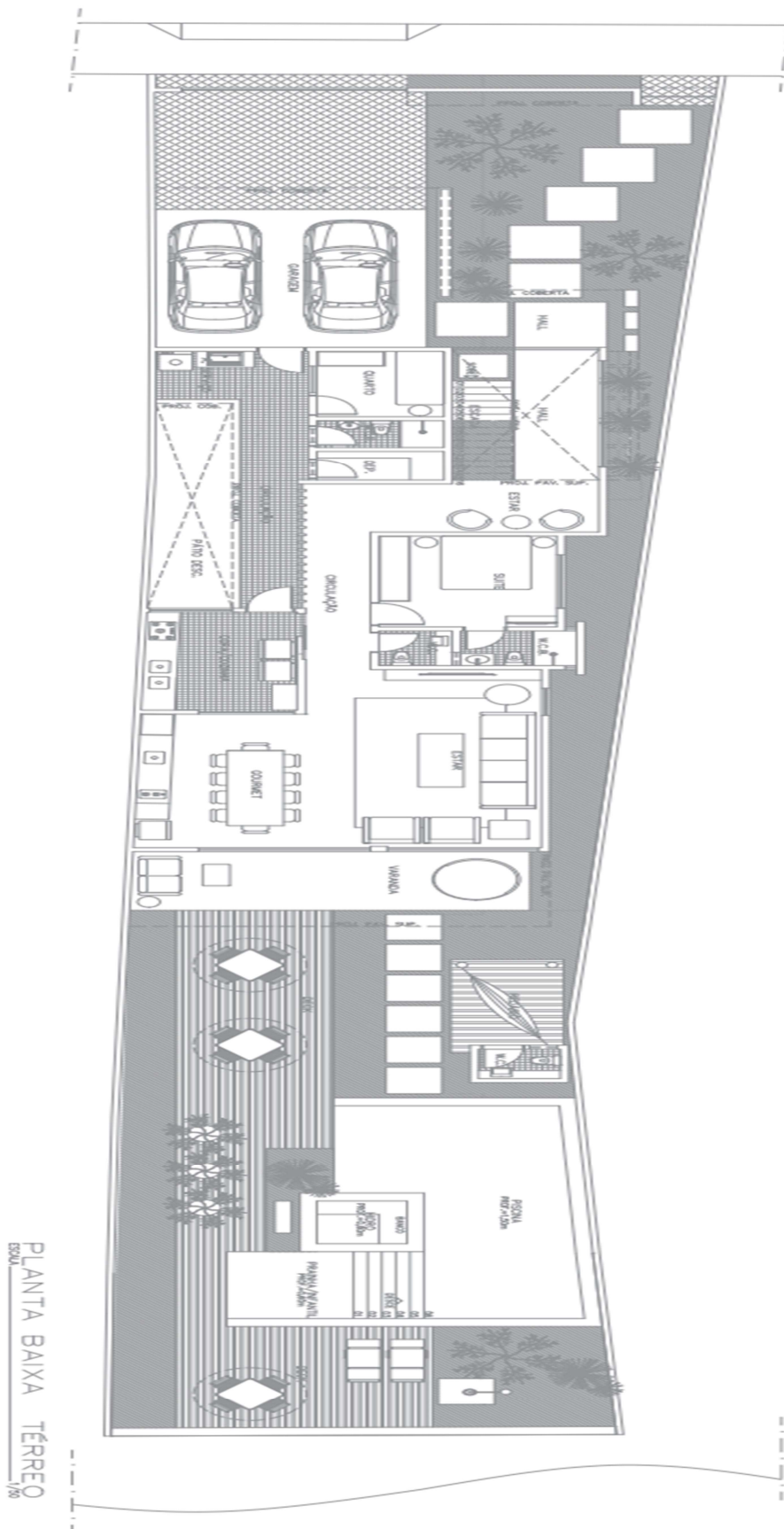
Figura 6 – Distribuição de matéria orgânica no terreno



Fonte: Autor (2021)

O projeto arquitetônico (figura 7) detalha o pavimento térreo com os ambientes: Garagem; Hall; Estar; Quarto; WCB; Depósito; Área de Serviço; Circulação; Suíte; WCB; WC; Copa/Cozinha; Estar; Gourmet; Varanda; Deck; Redário; WC e Piscina. Em seguida, a figura 8 ilustra o pavimento superior, composto por: Escada; Circulação/Roupeiro; Circulação; Suíte; WCB; Suíte; WCB; Suíte Master; Closet; WCB; Varanda. A figura 9 mostra o projeto de locação das estacas e blocos de coroamento da residência.

Figura 7 - Projeto arquitetônico térreo



Fonte: Customize Engenharia LTDA (2021)



Figura 8 - Projeto arquitetônico do pavimento superior

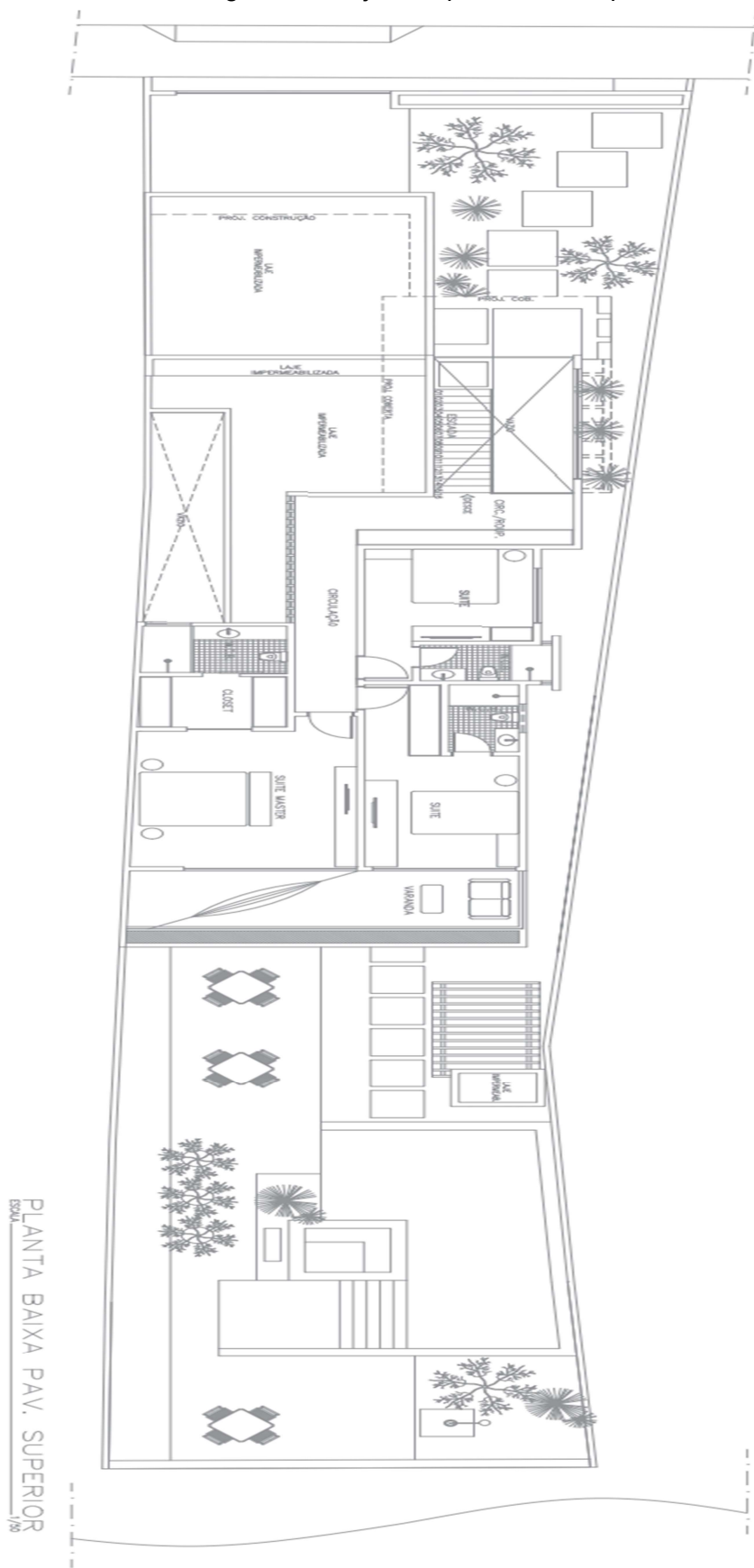
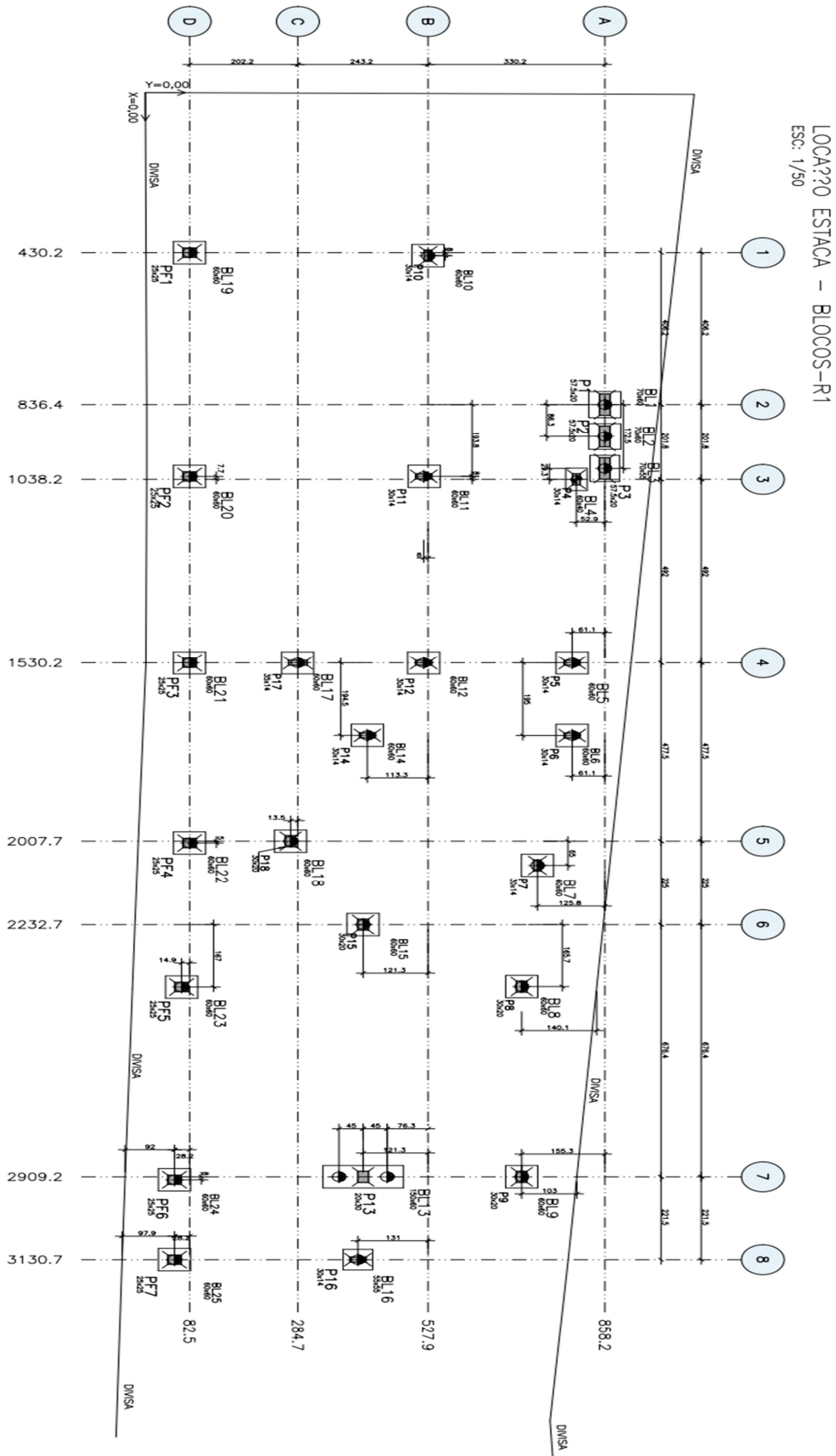


Figura 9 - Projeto de locação das estacas e blocos de coroamento



Fonte: Customize Engenharia LTDA (2021)

### 3.2 FORMULAÇÃO

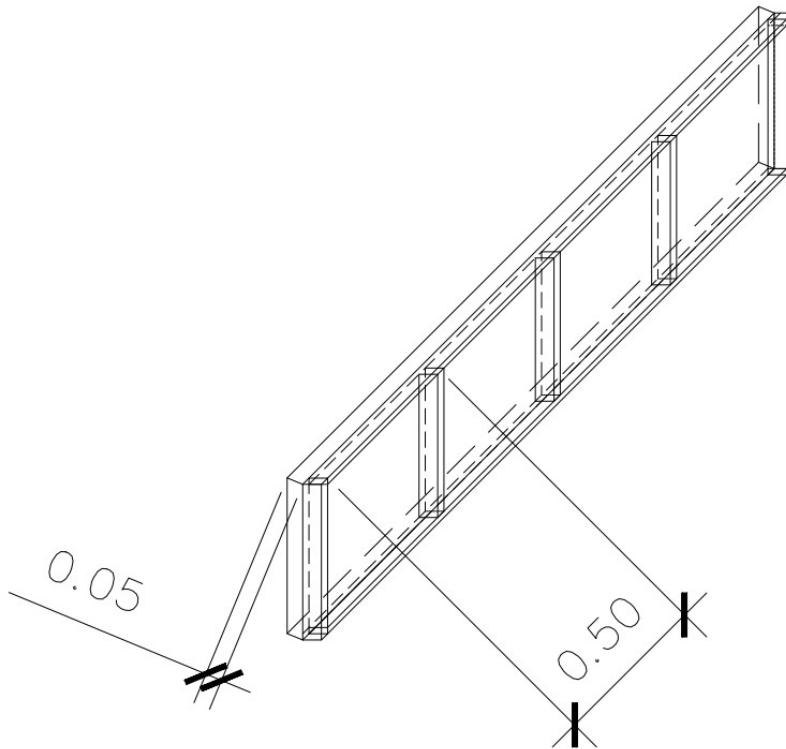
A formulação utilizada foi definida com base nos critérios de execução que demandaram os materiais em análise. O aço foi calculado por bitolas das barras utilizadas e por massa, que auxiliou para um parâmetro de preço e serviu como unidade funcional para a ACV do insumo. Da mesma forma, o concreto foi calculado em  $m^3$  e em quantidade de fôrmas por  $m^2$ , que também serviram como unidade funcional, para o insumo e para o sistema de produto.

Os moldes para confecção do concreto armado utilizados eram compostos por painéis de madeira fabricados em associações convenientes de madeirite compensado plastificado e sarrafos, diferenciando a forma de montagem de acordo com a peça em questão.

Para os painéis de viga, figura 10, era utilizada uma placa de madeirite compensado plastificado de altura e comprimento iguais aos da peça associado com uma moldura de sarrafo pregada ao longo do perímetro de um dos lados da placa junto com o reforço de sarrafo interno à moldura com espaçamento de 50 centímetros. Para vigas suspensas eram utilizados “fundos de viga” (figura 11) compostos com os mesmos materiais, mas os sarrafos eram pregados deitados nas extremidades da placa de madeirite e eram utilizados barrotes de madeira, como apoio, espaçados a cada 1 metro que auxiliavam o escoramento.

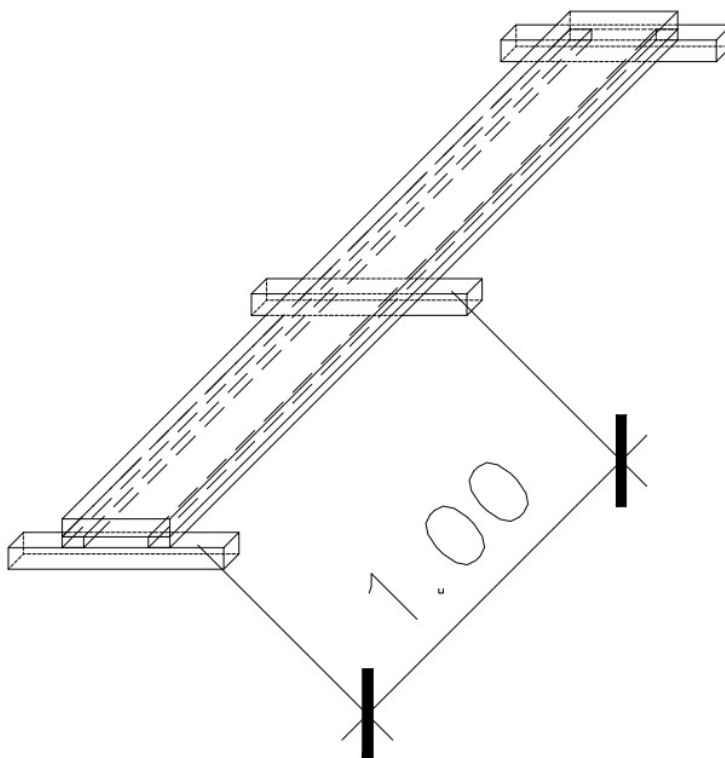


Figura 10 - Esquema de painel de madeira para viga



Fonte: Autor (2021)

Figura 11 - Esquema de painel de “fundo de viga”



Fonte: Autor (2021)

Desta forma, considerando os seguintes parâmetros:

- $b$  = Base da seção transversal da viga, em metros
- $h$  = Altura da seção transversal da viga, em metros
- $c$  = Comprimento da peça
- $P_{ef}$  = Perímetro efetivo

O perímetro efetivo da seção transversal varia de acordo com a condição de concretagem do elemento estrutural em questão, vai sofrer alteração nos casos onde não seja necessário o uso de fôrma em alguma das faces da peça. Os pilares são moldados nos 4 lados, enquanto que as vigas podem ser moldadas por 2 lados, onde haja a possibilidade do uso de alvenaria ou lastros de concreto como molde, ou por 3 lados quando se faz necessário o uso de “fundo de viga”. Esta grandeza é de vital importância, visto que auxilia na quantificação da área de placas de madeirite que foram utilizadas. Levando isto em consideração, podemos definir a área de madeirite de acordo com a fórmula 1.

$$A_{madeirite} = P_{ef} * c \quad (1)$$

Para os painéis de viga, sabe-se que é utilizado sarrafo para fazer a moldura dos painéis e para os apoios a cada 50 centímetros. Dessa forma, é possível calcular a quantidade de sarrafos de acordo com a fórmula 2.

$$S_{painéis} = P_{ef} * \left(\frac{c}{0,5}\right) + [4 * (h + c)] \quad (2)$$

Sendo o primeiro termo referente aos sarrafos de suporte e o segundo termo da soma referente à moldura dos painéis. No caso de vigas que necessitam de fundo de viga, a quantidade de sarrafos se dá através da fórmula 3.

$$S_{painéisfv} = [P_{ef} * \left(\frac{c}{0,5}\right)] + [4 * (h + c)] + (2 * c) + (2 * 1,5 * h * c) \quad (3)$$

Sendo os dois primeiros iguais aos da fórmula 2, o terceiro termo da soma representa os sarrafos horizontais pregados nas extremidades do fundo de viga, enquanto que o quarto termo representa uma quantidade de sarrafos que serve de apoio e garante o prumo dos painéis formando um triângulo retângulo com o barrote de apoio e escoramento do fundo de viga.

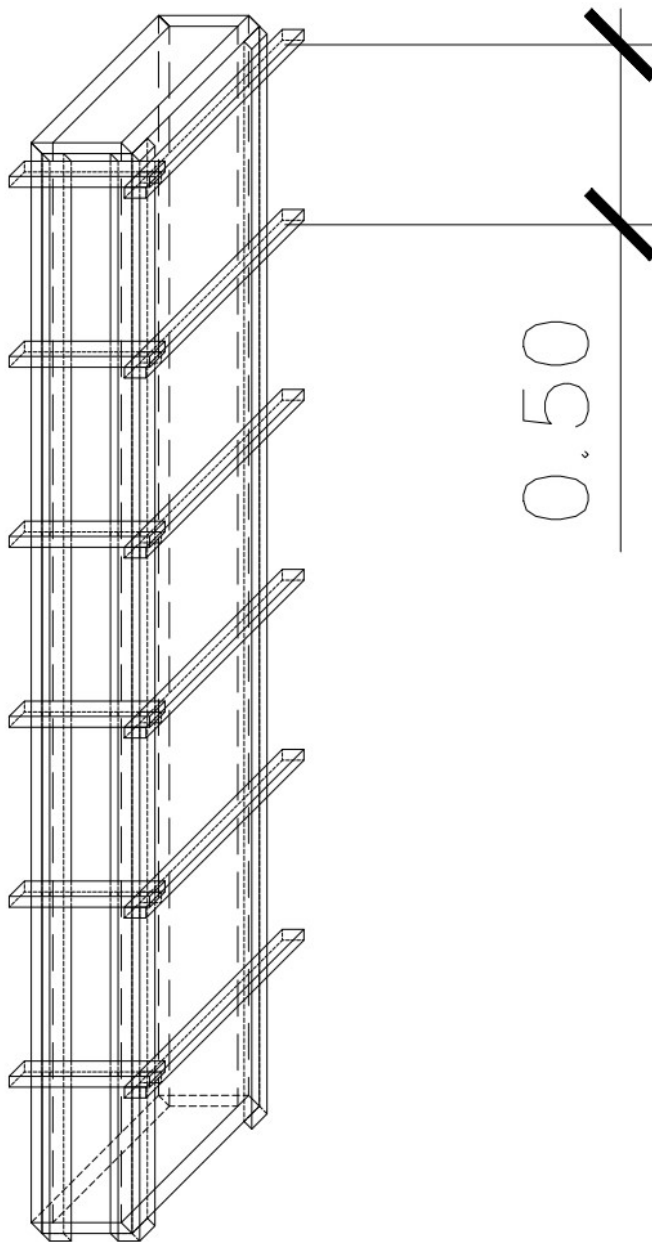
A quantidade de barrotes utilizados, que serviram para dar sustento para os fundos de viga e ser o ponto de escoramento e travamento dos painéis, pode ser calculada pela fórmula 4.

$$B_{fv} = 4 * b * c \quad (4)$$

Sendo 4 vezes o tamanho da base do elemento, a folga utilizada para fazer o travamento dos painéis com sarrafo.

Para os pilares de concreto armado da estrutura os moldes (figura 12) utilizados se assemelhavam aos de “fundo de viga”, com sarrafos deitados pregados nas extremidades das placas cujas dimensões eram iguais às da peça, contudo não eram utilizados sarrafos simples e sim uma espécie de “gravata” de sarrafo ao redor das placas para garantir o travamento das formas, ou em associação de sarrafos com parafusos de ancoragem.

Figura 12 - Esquema de fôrma de pilar



Fonte: Autor (2021)

Desta forma, considerando os mesmos parâmetros anteriores com os conceitos aplicados para o caso dos pilares, tem-se que o perímetro efetivo será igual ao perímetro da seção transversal do elemento e o comprimento será a altura do pilar. Assim, o quantitativo de área de madeirite e de comprimento (em metro linear) de sarrafo, de dimensões fixas, se dão pelas fórmulas 5 e 6, respectivamente.

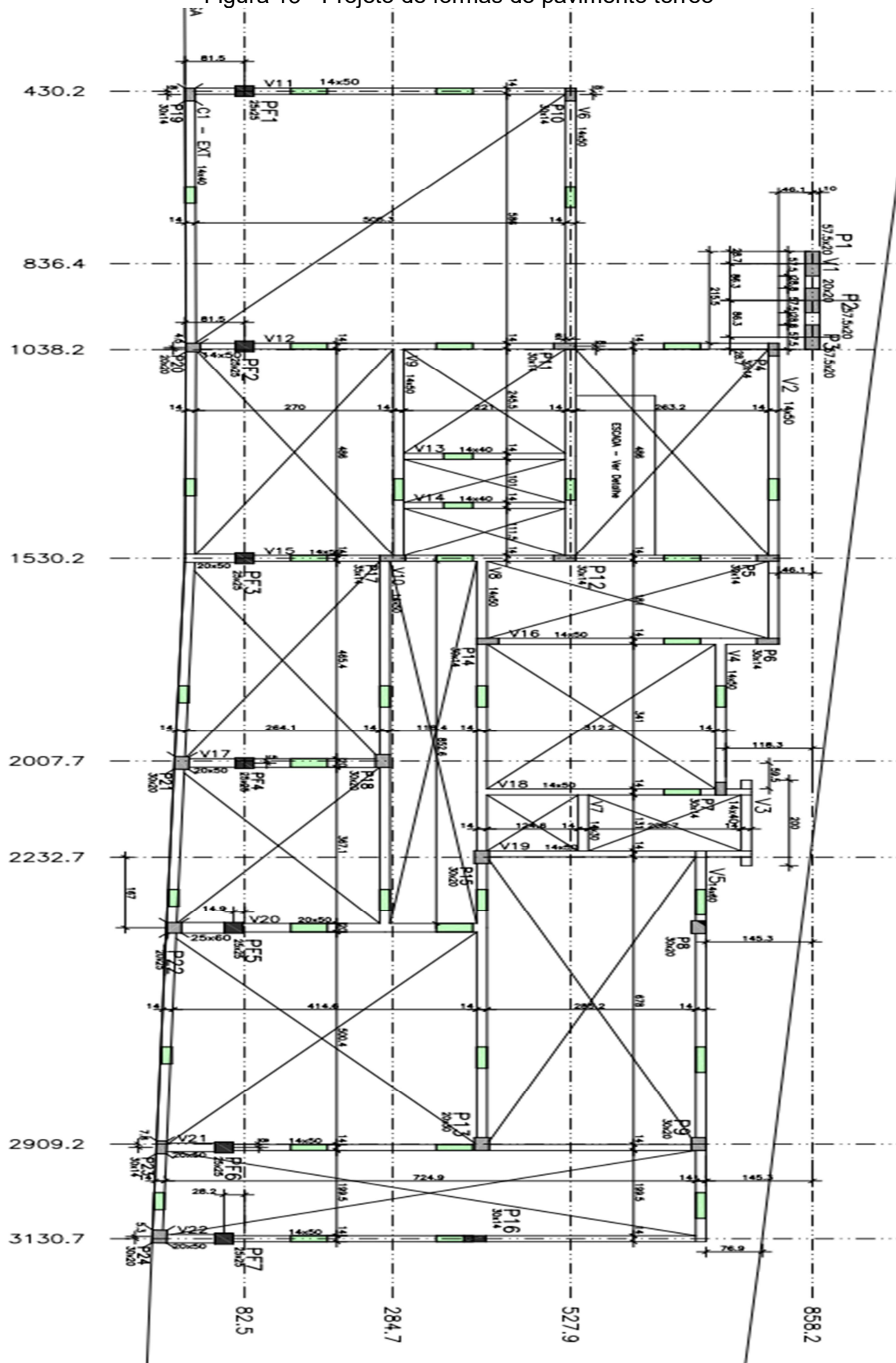
$$A_{madeirite_{pilar}} = P_{ef} * c \tag{5}$$

$$S_{painéis_{pilar}} = P_{ef} * \left(\frac{c}{0,5}\right) + (8 * c) + (2 * P_{ef}) \quad (6)$$

Sendo o primeiro termo da soma da fórmula 6 o representante das “gravatas” de travamento espaçadas 50 centímetros, o segundo termo o quantitativo dos sarrafos deitados pregados nas extremidades das placas de madeirite, semelhante ao fundo de viga, e o terceiro termo sendo as molduras de topo e de base.

O levantamento de quantitativos foi realizado mediante a leitura e interpretação do projeto estrutural, de onde foram retiradas medidas de dimensões das peças estruturais a serem executadas, bem como as medidas de comprimento das barras de aço das armações que foram quantificadas peça por peça, em seguida foram criadas planilhas com o auxílio do Excel para auxiliar nas contas. As figuras 13, 14 e 15 apresentam os projetos de fôrmas dos pavimentos térreo, superior e coberta respectivamente.

Figura 13 - Projeto de formas do pavimento térreo



Fonte: Customize Engenharia LTDA (2021)

Figura 14 - Projeto de fôrmas do pavimento superior

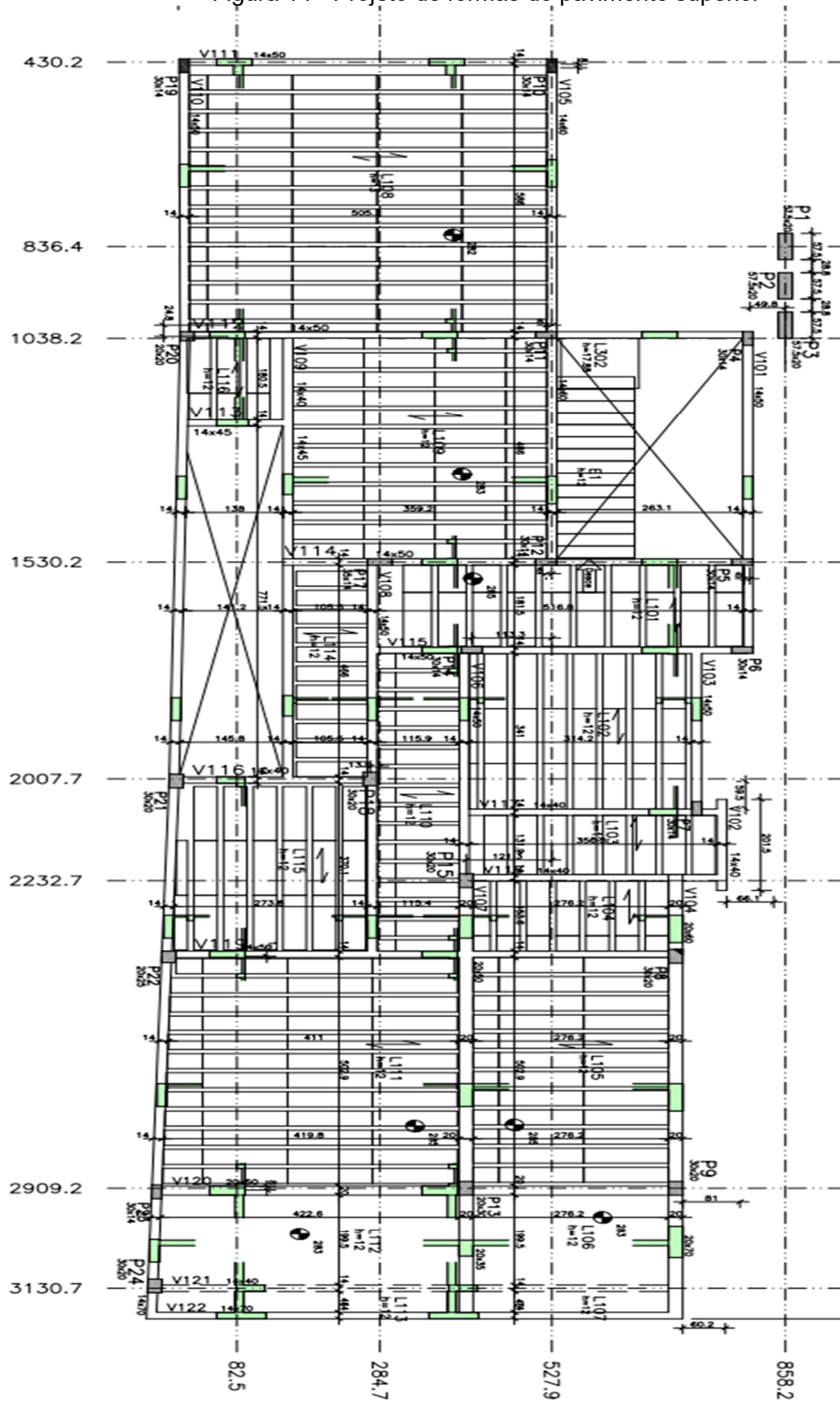
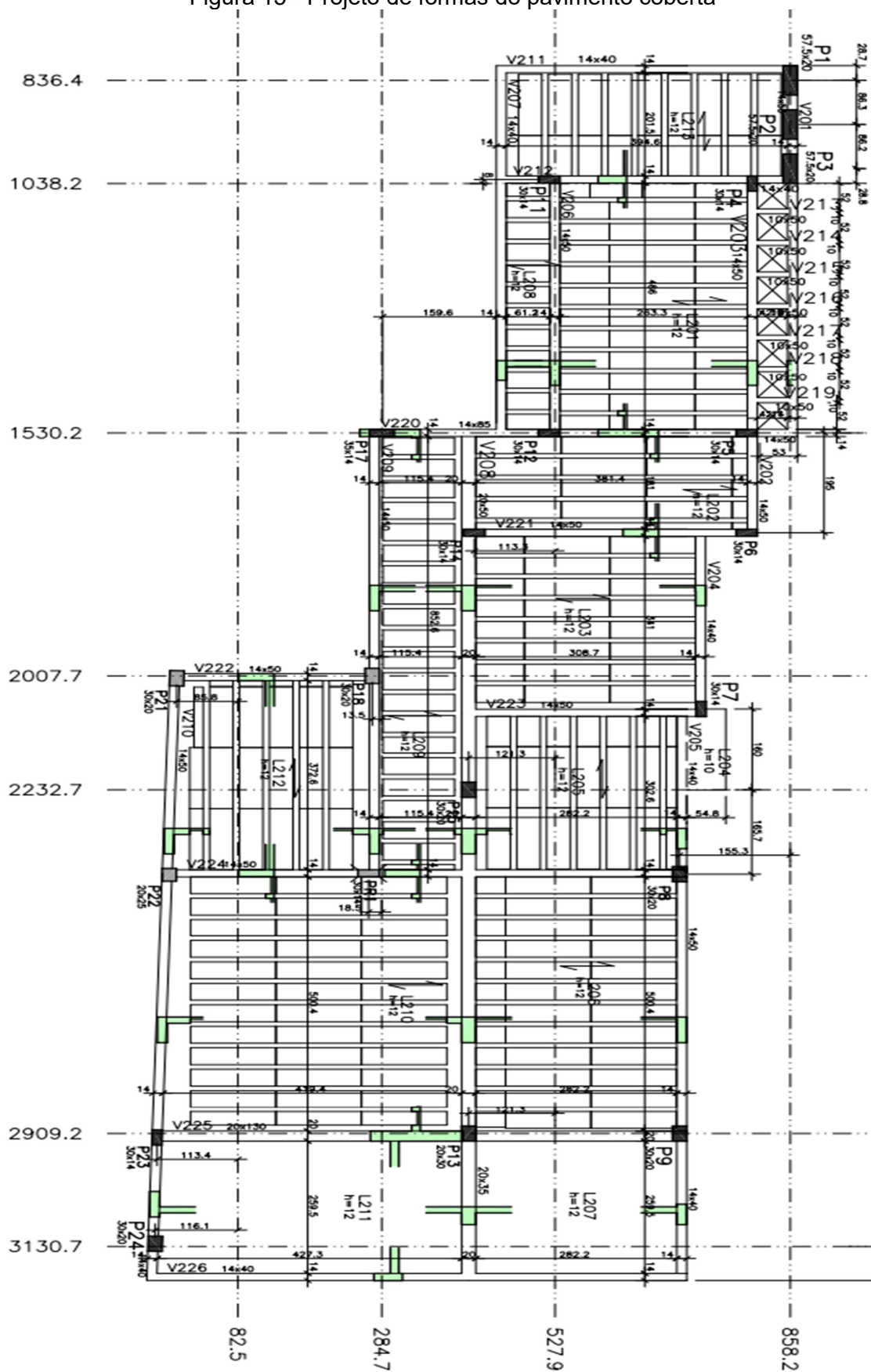


Figura 15 - Projeto de fôrmas do pavimento coberta



Fonte: Customize Engenharia LTDA (2021)



## 4 RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos no trabalho, bem como serão apresentados os levantamentos e as considerações feitas para a quantificação dos insumos.

### 4.1 LEVANTAMENTOS

A partir do projeto de locação e do projeto de fôrmas do pavimento térreo, foi possível identificar as dimensões dos elementos estruturais blocos de coroamento e vigas baldrame. Levando em consideração que na execução de ambos os elementos, havia a prévia execução de lastro de concreto magro que serviu de molde para a parte inferior das peças e que os blocos foram moldados apenas com placas de madeirite. O levantamento de fôrmas dos blocos, realizados com o auxílio da fórmula 1, é apresentado na tabela 1, enquanto o levantamento das vigas, na tabela 2, foi considerado o perímetro efetivo igual a duas vezes a altura, já que estas são moldadas em 2 lados, com o auxílio das fórmulas 1 e 2.

Tabela 1 - Levantamento de fôrmas, blocos de coroamento

Formas	Base da seção (m)	Altura da seção (m)	Perímetro efetivo (m)	Comprimento (m)	Área de forma (m <sup>2</sup> )
BL1	0,7	0,6	2,6	0,6	1,56
BL2	0,7	0,6	2,6	0,6	1,56
BL3	0,7	0,6	2,6	0,6	1,56
BL4	0,6	0,4	2	0,6	1,2
BL5	0,6	0,6	2,4	0,6	1,44
BL6	0,6	0,6	2,4	0,6	1,44
BL7	0,6	0,6	2,4	0,6	1,44
BL8	0,6	0,6	2,4	0,6	1,44
BL9	0,6	0,6	2,4	0,6	1,44
BL10	0,6	0,6	2,4	0,6	1,44
BL11	0,6	0,6	2,4	0,6	1,44
BL12	0,6	0,6	2,4	0,6	1,44
BL13	1,5	0,6	4,2	0,6	2,52
BL14	0,6	0,6	2,4	0,6	1,44
BL15	0,6	0,6	2,4	0,6	1,44
BL16	0,55	0,6	2,3	0,55	1,265
BL17	0,6	0,6	2,4	0,6	1,44
BL18	0,6	0,6	2,4	0,6	1,44
BL19	0,6	0,6	2,4	0,6	1,44
BL20	0,6	0,6	2,4	0,6	1,44
BL21	0,6	0,6	2,4	0,6	1,44
BL22	0,6	0,6	2,4	0,6	1,44
BL23	0,6	0,6	2,4	0,6	1,44
BL24	0,6	0,6	2,4	0,6	1,44
BL25	0,6	0,6	2,4	0,6	1,44

Tabela 2 - Levantamento de fôrmas, vigas baldrame

Formas	Base da seção (m)	Altura da seção (m)	Perímetro efetivo (m)	Comprimento (m)	Área de forma (m <sup>2</sup> )	sarrafo (m)
V1	0,2	0,2	0,4	2,3	0,92	11,84
V2	0,14	0,5	1	7,1	7,1	44,6
V3	0,14	0,4	0,8	2	1,6	12,8
V4	0,14	0,5	1	3,41	3,41	22,46
V5	0,14	0,6	1,2	9,2	11,04	61,28
V6	0,14	0,5	1	11,15	11,15	68,9
V7	0,14	0,3	0,6	1,31	0,786	8,012
V8	0,14	0,5	1	14	14	86
V9	0,14	0,5	1	4,86	4,86	31,16
V10	0,14	0,5	1	8,5	8,5	53
V11	0,14	0,5	1	5,3	5,3	33,8
V12	0,14	0,5	1	8,1	8,1	50,6
V13	0,14	0,4	0,8	2,21	1,768	13,976
V14	0,14	0,4	0,8	2,21	1,768	13,976
V15	0,14	0,5	1	7,2	7,2	45,2
V15*	0,2	0,5	1	1	1	8
V16	0,14	0,5	1	4,1	4,1	26,6
V17	0,2	0,5	1	2,45	2,45	16,7
V18	0,14	0,5	1	3,61	3,61	23,66
V19	0,14	0,5	1	3,61	3,61	23,66
V20	0,2	0,5	1	3,15	3,15	20,9
V20*	0,25	0,6	1,2	1	1,2	8,8
V21	0,14	0,5	1	6,3	6,3	39,8
V21*	0,2	0,5	1	1	1	8
V22	0,14	0,5	1	6,3	6,3	39,8
V22*	0,2	0,5	1	1,1	1,1	8,6

Fonte: Autor (2021)

Com os dados da tabela 1, pode-se estimar a quantidade de concreto necessária para a concretagem dos blocos de coroamento, esta apresenta valor de aproximadamente 5,72 m<sup>3</sup>, ao qual aplica-se um fator de correção devido às perdas na execução de 10%, finalizando em aproximadamente 6,3 m<sup>3</sup>. Para as vigas baldrame, a partir da tabela 2, é possível estimar o consumo de concreto que apresenta valor de 8,85 m<sup>3</sup> e levando em consideração uma correção por perdas resultando em 9,75 m<sup>3</sup> de concreto para execução das peças.

Em seguida, com o auxílio do projeto de fôrmas do pavimento superior e cobertura, iniciou-se o processo de quantificação dos materiais com as dimensões identificadas das vigas de cada pavimento. Estas vigas foram executadas com fundos de viga e com escoras a cada 1 metro, valendo ressaltar que as vigas V104, V107, V109, V110, V202, V207, V209 e V219 sofreram alteração de seção transversal ao longo do seu comprimento, o que precisou ser incluído no quantitativo de fôrmas, demonstrado na tabela 3 para as vigas do pavimento superior e na tabela 4 para as da cobertura. Os cálculos foram realizados com o auxílio das fórmulas 1, 3 e 4.

De forma análoga a anterior, para o quantitativo de concreto das vigas do pavimento superior, a partir da tabela 3, observa-se um total de aproximadamente 12,3 m<sup>3</sup>, que ao ser corrigido totaliza 13,5 m<sup>3</sup> de concreto. Para as vigas da cobertura, a partir da tabela 4, é possível quantificar 10,83 m<sup>3</sup>, que corrigido totaliza 11,9 m<sup>3</sup> de concreto. É necessário destacar que foi concebida uma estrutura elevada na cobertura, para a instalação da caixa d'água do sistema de água fria, composta por uma laje apoiada em 4 vigas, quantificadas na tabela 5, que consomem cerca de 0,9 m<sup>3</sup> de concreto, já corrigido.

Tabela 3 - Levantamento de fôrmas, vigas do pavimento superior

Formas	Base da seção (m)	Altura da seção (m)	Perímetro efetivo (m)	Comprimento (m)	Área de forma (m <sup>2</sup> )	sarrafo (m)	barrote (m)
V101	0,14	0,5	1,14	7	7,98	63,25	3,92
V102	0,14	0,4	0,94	2,02	1,8988	18,164	1,1312
V103	0,14	0,5	1,14	3,5	3,99	32,625	1,96
V104	0,2	0,6	1,4	7,5	10,5	72,15	6
V104*	0,2	0,7	1,6	2	3,2	22,5	1,6
V105	0,14	0,6	1,34	11,1	14,874	105,63	6,216
V106	0,14	0,5	1,14	4,85	5,529	44,4375	2,716
V107	0,2	0,5	1,2	7	8,4	63,25	5,6
V107*	0,2	0,35	0,9	2,7	2,43	22,7975	2,16
V108	0,14	0,5	1,14	8,5	9,69	76,375	4,76
V109	0,14	0,4	0,94	3	2,82	26,2	1,68
V109*	0,14	0,45	1,04	6,7	6,968	58,5825	3,752
V110	0,14	0,5	1,14	26,75	30,495	236,0625	14,98
V110*	0,14	0,7	1,54	2,7	4,158	29,395	1,512
V111	0,14	0,5	1,14	5,2	5,928	47,5	2,912
V112	0,14	0,5	1,14	8	9,12	72	4,48
V113	0,14	0,45	1,04	1,5	1,56	14,5125	0,84
V114	0,14	0,5	1,14	6,6	7,524	59,75	3,696
V115	0,14	0,5	1,14	5,3	6,042	48,375	2,968
V116	0,14	0,4	0,94	2,94	2,7636	25,708	1,6464
V117	0,14	0,4	0,94	3,5	3,29	30,3	1,96
V118	0,14	0,4	0,94	3,5	3,29	30,3	1,96
V119	0,14	0,5	1,14	7,35	8,379	66,3125	4,116
V120	0,2	0,5	1,2	7,15	8,58	64,5625	5,72
V121	0,14	0,4	0,94	7,15	6,721	60,23	4,004
V122	0,14	0,7	1,54	7,5	11,55	76,675	4,2
V161	0,14	0,5	1,14	5	5,7	45,75	2,8

Fonte: Autor (2021)

Tabela 4 - Levantamento de fôrmas, vigas da cobertura

Formas	Base da seção (m)	Altura da seção (m)	Perímetro efetivo (m)	Comprimento (m)	Área de forma (m <sup>2</sup> )	sarrafo (m)	barrote (m)
V201	0,14	0,5	1,14	7,3	8,322	65,875	4,088
V202	0,14	0,4	0,94	5,95	5,593	50,39	3,332
V202*	0,14	0,5	1,14	5,1	5,814	46,625	2,856
V203	0,14	0,5	1,14	4,85	5,529	44,4375	2,716
V204	0,14	0,5	1,14	2	2,28	19,5	1,12
V205	0,14	0,5	1,14	4,85	5,529	44,4375	2,716
V206	0,14	0,4	0,94	7	6,58	59	3,92
V207	0,2	0,5	1,2	13,85	16,62	123,1875	11,08
V207*	0,2	0,35	0,9	2,6	2,34	22,005	2,08
V208	0,14	0,5	1,14	8,5	9,69	76,375	4,76
V209	0,14	0,5	1,14	11,15	12,711	99,5625	6,244
V209*	0,14	0,4	0,94	0,6	0,564	6,52	0,336
V210	0,14	0,4	0,94	4,2	3,948	36,04	2,352
V211	0,14	0,4	0,94	4	3,76	34,4	2,24
V212	0,1	0,5	1,1	0,7	0,77	8,125	0,28
V213	0,1	0,5	1,1	0,7	0,77	8,125	0,28
V214	0,1	0,5	1,1	0,7	0,77	8,125	0,28
V215	0,1	0,5	1,1	0,7	0,77	8,125	0,28
V216	0,1	0,5	1,1	0,7	0,77	8,125	0,28
V217	0,1	0,5	1,1	0,7	0,77	8,125	0,28
V218	0,1	0,5	1,1	0,7	0,77	8,125	0,28
V219	0,14	0,85	1,84	5,45	10,028	61,57875	3,052
V2019*	0,14	0,5	1,14	0,7	0,798	8,125	0,392
V220	0,14	0,5	1,14	2,75	3,135	26,0625	1,54
V221	0,14	0,5	1,14	6,2	7,068	56,25	3,472
V222	0,14	0,5	1,14	7,2	8,208	65	4,032
V223	0,2	1,3	2,8	7,35	20,58	101,8525	5,88
V224	0,14	0,5	1,14	7,6	8,664	68,5	4,256
V225	0,14	0,5	1,14	3,9	4,446	36,125	2,184
V226	0,14	0,4	0,94	3,5	3,29	30,3	1,96

Fonte: Autor (2021)

Tabela 5 - Levantamento de fôrmas, vigas da caixa d'água

Formas	Base da seção (m)	Altura da seção (m)	Perímetro efetivo (m)	Comprimento (m)	Área de forma (m <sup>2</sup> )	sarrafo (m)	barrote (m)
V301	0,14	0,4	0,94	4,1	3,854	35,22	2,296
V302	0,14	0,4	0,94	4,1	3,854	35,22	2,296
V303	0,14	0,4	0,94	2,95	2,773	25,79	1,652
V304	0,14	0,4	0,94	3	2,82	26,2	1,68

Fonte: Autor (2021)

Com o auxílio dos projetos do térreo, superior e cobertura foi possível identificar a dimensão de cada um dos pilares da estrutura, apresentadas na tabela 6, quantificadas com o auxílio das fórmulas 5 e 6, que totaliza um volume de aproximadamente 8,62 m<sup>3</sup> que corrigidos somam 9,5 m<sup>3</sup> de concreto.

Tabela 6 - Levantamento de fôrmas dos pilares

Formas	Base da seção (m)	Altura da seção (m)	Perímetro efetivo (m)	Comprimento (m)	Área de forma (m <sup>2</sup> )	sarrafo (m)
P1	0,2	0,58	1,56	6,25	9,75	72,62
P2	0,2	0,58	1,56	6,25	9,75	72,62
P3	0,2	0,58	1,56	6,25	9,75	72,62
P4	0,14	0,3	0,88	6,25	5,5	62,76
P5	0,14	0,3	0,88	6,7	5,896	67,152
P6	0,14	0,3	0,88	6,7	5,896	67,152
P7	0,14	0,3	0,88	6,7	5,896	67,152
P8	0,2	0,3	1	6,7	6,7	69
P9	0,2	0,3	1	6,7	6,7	69
P10	0,14	0,3	0,88	3,85	3,388	39,336
P11	0,14	0,3	0,88	6,25	5,5	62,76
P12	0,14	0,3	0,88	6,7	5,896	67,152
P13	0,2	0,3	1	6,7	6,7	69
P14	0,14	0,3	0,88	6,7	5,896	67,152
P15	0,2	0,3	1	6,7	6,7	69
P16	0,14	0,3	0,88	1	0,88	11,52
P17	0,14	0,35	0,98	6,7	6,566	68,692
P18	0,2	0,3	1	7,7	7,7	79
P19	0,14	0,3	0,88	3,85	3,388	39,336
P20	0,2	0,2	0,8	5,05	4,04	50,08
P21	0,2	0,3	1	7,1	7,1	73
P22	0,2	0,3	1	7,1	7,1	73
P23	0,14	0,3	0,88	6,2	5,456	62,272
P24	0,2	0,3	1	6,2	6,2	64
PR1	0,14	0,3	0,88	1,5	1,32	16,4

Fonte: Autor (2021)

O quantitativo de aço das armaduras foi feito a partir da leitura do projeto estrutural e levantado peça por peça de acordo com o detalhamento de cada barra de aço em centímetro por bitola, em metros e em quilogramas de aço, conforme ilustra a tabela 7 para os blocos de coroamento, a tabela 8 para os arranques de pilar, a tabela 9 para os pilares, a tabela 10 para as vigas baldrame, a tabela 11 para as vigas do pavimento superior e a tabela 12 para as vigas de cobertura e caixa d'água.

Tabela 7 - Levantamento de aço dos blocos

Blocos de Coroamento	5mm	6.3mm	8mm	10mm	12.5mm	16mm	20mm
BL1;BL2;BL3				6489			
BL5;BL6;BL7;BL10;BL11; BL12;BL14				14301			
BL8;BL9				4970			
BL13		2550	1144				720
BL19;BL20;BL21;BL22;B L23;BL24;BL25				14301			
BL16				1242			
BL15;BL17;BL18				6129			
BL4				1584			
total	0	2550	1144	49016	0	0	720
total (m)	0	25,5	11,44	490,16	0	0	7,2
peso (kg)	0	6,2475	4,5188	302,429	0	0	18
						total (kg):	331,195

Fonte: Autor (2021)

Tabela 8 - Levantamento de aço dos arranques

Arranques de pilares	5mm	6.3mm	8mm	10mm	12.5mm	16mm	20mm
P1; P2; P3	3528			2520			
P4	632			560			
P5; P6; P7	1896			1680			
P8; P9	1456				1120		
P11	395				900		
P12; P14	1264			1120			
P13	728				560		
P15	728			560			
P18	728			840			
P17	712			560			
P16	632			380			
P10; P19	1264			1120			
total	13963	0	0	9340	2580	0	0
total (m)	139,63	0	0	93,4	25,8	0	0
peso (kg)	21,50302	0	0	57,6278	24,8454	0	0
						total (kg):	103,9762

Fonte: Autor (2021)



Tabela 9 - Levantamento de aço dos pilares

Pilares	5mm	6.3mm	8mm	10mm	12.5mm	16mm	20mm
P1; P2; P3	19404			9360			
P4	3476			2240			
P5; P6; P7	11376			7260			
P8; P9	4914	3864			5400		
P11	1580	1760		1192	2070		
P12; P14	7584			4840			
P13	4823			1360	1300		
P15	4368			2420			
P18	4368	828		3960	750		
P17	4272			2420			
P16							
P21; P22	11284			6200			
p24	2002	2208		1000	1460		
p23		3920			3370		
p20		2448			2000		
pr1	1106			1320			
p10; p19	3950			2320			
total	84507	15028	0	45892	16350	0	0
total(m)	845,07	150,28	0	458,92	163,5	0	0
peso (kg)	130,1408	36,8186	0	283,154	157,4505	0	0
						total (kg):	607,5635

Fonte: Autor (2021)

Tabela 10 - Levantamento de aço das vigas baldrame

Vigas Baldrame	5mm	6.3mm	8mm	10mm	12.5mm	16mm	20mm
v1	426			786			
v2	4159			2614			
v3	856		950				
v4	2601			752			
v5	5560			4422			
v6	7223			4004			
v7	1143		380				
v8	7868			5460			
v9	2737		1126	1415			
v10	4522			3740			
v11	2856	330		2510			
v12	5969		1008	1196		3124	
v13	1629		560				
v14	1629		560				
v15	4390			3338			
v16	1904			1740			
v17	1310		938		960		1480
v18	2159		828	800			
v19	2032			1670			
v20	870	1898	1464	435	1200		2150
v21	3332		938	900	690	1530	1550
v22	3451	792		2356		1340	
Total(cm):	68626	3020	8752	38138	2850	5994	5180
Total(m):	686,26	30,2	87,52	381,38	28,5	59,94	51,8
Peso(Kg):	105,684	7,399	34,5704	235,311	27,4455	94,58532	129,5
						Total:	634,4957

Fonte: Autor (2021)

Tabela 11 - Levantamento de aço das vigas do pavimento superior

Vigas 1ª Laje	5mm	6.3mm	8mm	10mm	12.5mm	16mm	20mm
v101	4159			2614			
v102	856		960				
v103	1785		816	752			
v104	6964	1216	1770		1968	3680	
v105	12427			2690	2420		
v106	3568			330	1777		
v107	345	8010	1164		1030	2980	2625
v108	4522				3724		
v109	5575			2804	1368		
v110	17559	672	250	5516	4290		
v111	3447	260		1440			
v112	4748			340	2728		
v113	763		820				
v114	1666	360		850	1356	1135	
v115	2618			2484			
v116	1188		690	630			
v117	1819			1644			
v118	1819			1644			
v119	4268			3340			
v120	5800			2090	1550		
v121	3267		1594	1570			
v122	6417		4776	2605			
V161	2921		1206	1440			
ARM. POSITIVA		32154					
ARM. NEGATIVA	27600	59620	8357				
total	126101	102292	22403	34783	22211	7795	2625
total (m)	1261,01	1022,92	224,03	347,83	222,11	77,95	26,25
peso (kg)	194,1955	250,6154	88,49185	214,611	213,8919	123,0051	65,625
						total (kg):	1150,43593

Fonte: Autor (2021)



Tabela 12 - Levantamento de aço das vigas da cobertura e caixa d'água

Vigas 2ª Laje	5mm	6.3mm	8mm	10mm	12.5mm	16mm	20mm
V201	3429			2866			
V202	1143			2060			
V203	3374			1740			
V204	1605		818	752			
V205	6153			4135	1520		
V206	3357			660	1070		
V207	3745				3020		
V208	5740	8608	592		5620	2320	1680
V209	4522			3872			
V210	6331	400	260	4580			
V211	1926		924	890			
V212	1498	540		2025			
V213	222		460				
V214	222		460				
V215	222		460				
V216	222		460				
V217	222		460				
V218	222		460				
V219	222		460				
V220	4842	4312		3546			
V221	2032			1780			
V222	1428			1360			
V223	1905			1570			
V224	3808			1784		1898	
V225	12200	9276			2788	2148	
V226	3897		1062	1892			
V301	2083		260	1639			
V302	1683			1882			
V303	1188	340	1080				
V304	1188	340	1088				
ARM. POSITIVA		42060					
ARM. NEGATIVA	8400	26082	29396				
BARRILETE POS/NEG		5700					
total	89031	97658	38700	39033	14018	6366	1680
total (m)	890,31	976,58	387	390,33	140,18	63,66	16,8
peso (kg)	137,1077	239,2621	152,865	240,834	134,9933	100,4555	42
						total (kg):	1047,517

Fonte: Autor (2021)

Para o caso das lajes, que se tratam de elementos estruturais de superfície, no estudo de caso em particular, foram executadas com vigotas de concreto pré-moldadas com largura de 12,5 cm, lajotas de EPS de 33 cm x 7,5 cm x 100 cm com a presença de armação de aço em malha pop soldada de dimensões 3 m x 2 m de bitola 4,2 mm com espaçamento 15 x 15, com peso de 9 kg por tela. É válido ressaltar que a laje do

pavimento superior foi executada com concreto dosado em central e transportado até o local, percorrendo uma distância de aproximadamente 25,4 km. No estudo também foi considerada a execução de radier de concreto armado sobre as fundações abaixo do piso do pavimento térreo.

É necessário atentar para o fato de que as lajes L106 e L112 da figura 14 são lajes maciças, as quais não necessitam de nervuras, lajotas e malha de aço, além disso a armação das mesmas já está quantificada na tabela 11 intituladas como ARM. POSITIVA e ARM. NEGATIVA. Assim como acontece para as lajes L207 e L211 da figura 15 e analogamente possuem suas armações quantificadas na tabela 12.

No piso do pavimento térreo foi executado um radier com malha de aço com bitola de 4,2 mm, com aproximadamente 10 cm de espessura ao longo dos 180 m<sup>2</sup> construídos, totalizando um consumo de concreto de aproximadamente 19,8 m<sup>3</sup>, considerando uma margem de perdas de 10%. Da mesma forma, para o quantitativo de malhas de aço de dimensões 3 m x 2 m, foi considerado um transpasse de 10% das dimensões, totalizando 33 unidades da armação.

Para a laje do pavimento superior, a partir da figura 13 é possível quantificar a quantidade em metros linear de nervuras e a quantidade em unidades de lajotas gastos para a execução da mesma, conforme ilustrado na tabela 13. Assim como para a laje da cobertura, a partir da figura 14 é possível quantificar o consumo de materiais conforme ilustra a tabela 14.

Tabela 13 - Levantamento de nervuras e lajotas do pavimento superior

Laje	Comprimento (m)	Lado (m)	Comprimento nervura (m)	Número de nervuras	Número de lajotas
L108	5,86	5,2	5,2	14	102
L109	4,86	3,75	3,75	11	61
L101	5,168	1,95	1,95	12	34
L102	3,142	3,55	3,55	7	37
L103	3,502	1,45	1,45	8	17
L104	2,762	1,65	1,65	6	15
L105	5,029	2,9	2,9	12	49
L110	6,55	1,3	1,3	15	28
L111	5,029	4,35	4,35	12	73
L114	4,66	1,2	1,2	11	19
L115	2,75	3,85	3,85	6	35
L116	1,35	1,95	1,95	3	9
<b>Total de Nervuras (m) =</b>			<b>371,03</b>	<b>Total Lajotas =</b>	
				<b>526</b>	

Fonte: Autor (2021)

Tabela 14 - Levantamento de nervuras e lajotas da cobertura

Laje	Comprimento (m)	Lado (m)	Comprimento nervura (m)	Número de nervuras	Número de lajotas
L201	4,9	2,8	2,8	12	45,73
L202	3,9	1,9	1,9	9	24,70
L203	3,5	3,2	3,2	8	37,33
L205	3,1	2,9	2,9	7	29,97
L206	5,1	2,9	2,9	12	49,30
L208	4,9	0,9	0,9	12	14,70
L209	8,6	1,25	1,25	20	35,83
L210	5,1	4,3	4,3	12	73,10
L212	3,8	2,8	2,8	9	35,47
L213	4	2,1	2,1	9	28,00
<b>Total de Nervuras (m) =</b>			290,50	<b>Total Lajotas =</b>	411,55

Fonte: Autor (2021)

Para o quantitativo de concreto dos 152,09 m<sup>2</sup> de laje nervurada do pavimento superior foi considerado um capeamento de 7 cm de concreto, totalizando um volume de 10,65 m<sup>3</sup>, enquanto que para a laje maciça foi considerada a espessura de 15 cm consumindo um volume de aproximadamente 3,35 m<sup>3</sup> de concreto. Ao considerar uma margem de 10%, atinge-se um volume total de concreto para a execução da laje do pavimento superior de 15,4 m<sup>3</sup>. Levando em conta as considerações anteriores, para a quantidade de malhas de aço, a laje consumiu um total de 28 unidades de dimensões 3 m x 2 m.

Para a laje da cobertura, a parte nervurada possui uma área de 118,45 m<sup>2</sup> com capeamento de 7 cm totalizando um volume de 8,3 m<sup>3</sup> de concreto, enquanto que a parte maciça analogamente a anterior, com área de 22,32 m<sup>2</sup> e espessura de 15 cm e volume de concreto de 3,35 m<sup>3</sup>. Assim, considerando a margem de 10%, atingimos um volume de concreto de aproximadamente 12,8 m<sup>3</sup> para a execução da cobertura. A quantidade de malhas para a parte nervurada da laje de cobertura foi de 22 unidades de dimensões 3m x 2m.

#### 4.2 AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA (ACV)

O estudo passou pela criação do Inventário de Ciclo de Vida (ICV), que consiste na seleção de dados, a partir do levantamento, referentes aos traços e componentes da estrutura. Seguindo para a utilização do *software* OpenLCA, no qual é realizada a criação dos fluxos de processo de cada insumo necessário, a partir dos quais são

criados os sistemas de produtos dos elementos e estrutura. As ACVs foram realizadas de acordo com o método de avaliação de impacto CML *baseline*.

#### 4.3 Inventário de Ciclo de Vida (ICV)

Para a confecção dos elementos estruturais foi indicada a utilização de traço de concreto 1:2:3 em volume, que quando convertido em massa resulta no traço 1:2,17:2,94:0,61. A tabela 15 apresenta o consumo de materiais, por etapa, da estrutura.

As nervuras utilizadas para a confecção das lajes foram moldadas *in loco*, com a utilização de treliça de aço do tipo TR12646, que consome 1,016 kg de aço por metro. Com isso, obteve-se um total de 376,96 kg de aço e 2,04 m<sup>3</sup> de concreto para as nervuras da laje do pavimento superior e 295,14 kg de aço e 1,6 m<sup>3</sup> de concreto para as nervuras da laje de cobertura, conforme indicado na tabela 15.

Tabela 15 - Inventário Geral da estrutura

Étapa	Aço (kg)	Malha (kg)	Concreto (m <sup>3</sup> )	Madeirite (m <sup>2</sup> )	Sarrafo (m)	Barrote (m)
Blocos de Coroamento	331,19	-	6,3	37,025	-	-
Vigas baldrame	634,49	-	9,75	121,32	782,12	-
Pilares	711,53	-	9,5	149,67	1531,8	-
Vigas pav. Superior	1150,43	-	13,5	193,38	1513,4	99,29
Vigas cobertura e barrilete	1047,52	-	12,8	174,19	1361,5	86,49
Laje Térreo	-	297	19,8	-	-	-
Laje pav. Superior	376,96	252	17,44	-	-	-
Laje cobertura	295,14	198	14,4	-	-	-
<b>Totais:</b>	<b>4547,26</b>	<b>747</b>	<b>103,49</b>	<b>675,585</b>	<b>5188,82</b>	<b>185,78</b>

Fonte: Autor (2022)

É necessário levar em consideração que as fôrmas foram confeccionadas com placas de compensado de acabamento plastificado que, segundo Barros e Melhado (1998), a depender do cuidado e tratamento dado a elas, existe a possibilidade de reutilização dos painéis variando de 10 a 40 vezes, em função da espessura da película aplicada. No caso estudado, a empresa executora da obra considerou a reutilização dos painéis em 4 vezes, redução que se aplica à área de madeirite e quantitativo de sarrafos.

Além disso, foram utilizados equipamentos específicos para cada etapa de confecção da estrutura. O corte e dobra das armações durou cerca de 2 meses, nos quais era utilizado uma esmerilhadeira angular Makita de 5" 220V modelo 9557HNG de 840 Watts de potência, que ficava ligada em média 3 horas por dia, totalizando um tempo de operação de 132 horas que se traduz em um consumo energético total de 110 kWh.

Para a confecção das fôrmas, que se estendeu por aproximadamente 3 meses, foi utilizada uma serra-circular Makita de 7" 220V modelo 5007N de 1800 Watts de potência, que passava cerca de 4 horas em funcionamento por dia, totalizando um tempo de operação de 264 horas que representa um gasto energético total de 475,2 kWh.

Para a produção do concreto fabricado em obra, fazia-se uso de uma betoneira de 400 L modelo CSM - 1 TRACO - 400 L de 2 cv de potência, que era utilizada por cerca de 4 horas diárias ao longo dos 3 meses de execução da estrutura, totalizando um consumo energético de 393,88 kWh. Analogamente, para o adensamento do concreto foi utilizado um vibrador elétrico de concreto, modelo CSM Weg monofásico de 1,5 cv de potência, que funcionava em média 3 horas diárias, totalizando um consumo energético de 299,37 kWh.

Ao longo da execução das etapas foi necessária a substituição do disco de corte de aço da esmerilhadeira e do disco de corte de madeira da serra-circular, sendo consumidos 30 discos de corte de aço de 5" e 2 discos de corte de madeira de 7". Destaca-se ainda um consumo total de 25 kg de pregos para a confecção das fôrmas e cerca de 40 kg de arame recozido para montagem das armaduras.

Assim, após levar em consideração o reaproveitamento dos painéis, e calcular a quantidade de cimento, areia e brita pelo traço, que consome 0,486 m<sup>3</sup> de areia, 0,364 m<sup>3</sup> de brita, 0,21 m<sup>3</sup> de água e 344 kg de cimento por m<sup>3</sup> de concreto, obtém-se o inventário de ciclo de vida, conforme tabela 16.

Além disso, ressalta-se que não foram considerados no inventário da análise o quantitativo de escoras utilizadas, visto que as mesmas foram equipamentos alugados e devolvidos, não representando um consumo. Não foi considerado o volume de concreto magro utilizado, por este não ser concreto estrutural, bem como não foram considerados a execução da piscina e da escada.

Tabela 16 - Inventário de Ciclo de Vida por etapa

Étapa	Aço (kg)	Malha (kg)	Cimento (kg)	Areia (m <sup>3</sup> )	Brita (m <sup>3</sup> )	Água (m <sup>3</sup> )	Madeirite (m <sup>2</sup> )	Sarrafo (m)	Barrote (m)
Blocos de Coroamento	331,19	-	2167,2	3,0618	2,2932	1,323	37,025	-	-
Vigas baldrame	634,49	-	3354	4,7385	3,549	2,0475	121,32	782,12	-
Pilares	711,53	-	3268	4,617	3,458	1,995	149,67	1531,8	-
Vigas pav. Superior	1150,43	-	4644	6,561	4,914	2,835	193,38	1513,4	99,29
Vigas coberta e barrilete	1047,52	-	4403,2	6,2208	4,6592	2,688	174,19	1361,5	86,49
Laje Térreo	-	297	6811,2	9,6228	7,2072	4,158	-	-	-
Laje pav. Superior	376,96	252	-	-	-	-	-	-	-
Laje coberta	295,14	198	4953,6	6,9984	5,2416	3,024	-	-	-
Totais:	4547,26	747	29601,2	41,8203	31,3222	18,0705	168,89625	1297,205	185,78

Fonte: Autor (2022)

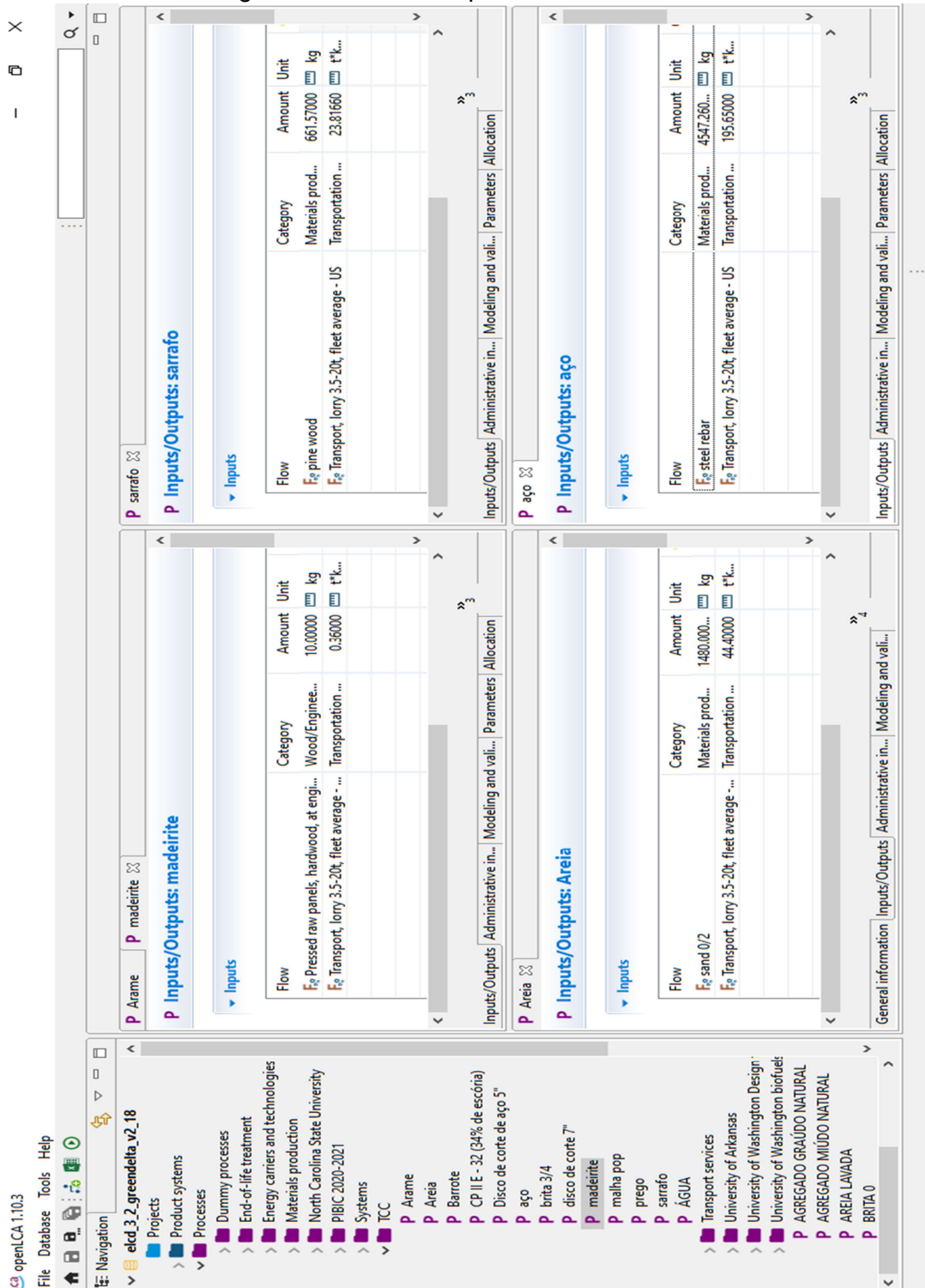
Na realização da avaliação de impactos de ciclo de vida, os gastos energéticos citados anteriormente foram distribuídos para cada etapa, de forma proporcional ao volume de concreto de cada uma. A partir do gasto energético total de 1278,45 kWh, obtem-se o consumo de 77,82 kWh para a execução dos blocos de coroamento, 120,44 kWh para as vigas baldrame, 117,35 kWh para os pilares, 166,77 kWh para as vigas do pavimento superior, 158,12 kWh para as vigas da coberta e barrilete, 255,6 kWh para a laje do térreo, 215,44 kWh para a laje do pavimento superior e 166,91 kWh para as lajes de coberta e barrilete. Além disso, a areia utilizada foi fornecida por um distribuidor do município de São Miguel dos Campos situado a aproximadamente 30 km da obra, a brita foi proveniente de rochas graníticas de Rio Largo – AL a aproximadamente 72 km da obra, o cimento foi fornecido por uma fábrica de cimento situada a 35 km da obra e por fim, as madeiras foram fornecidas por um depósito de Maceió – AL, situado a 36 km da obra. O aço foi fornecido por uma distribuidora de aço da capital alagana, situada a cerca de 43 km da obra.

#### 4.4 Utilização do software

A priori foi necessário realizar a montagem dos fluxos de processo dos insumos utilizados a partir dos fluxos elementares disponíveis nas bases de dados, selecionando os itens mais coerentes com os materiais utilizados e os gastos de transporte, conforme ilustrado na figura 16.



Figura 16 – Fluxos de processo dos insumos



Fonte: Autor (2022)

Em seguida, foram criados fluxos de processos para as etapas da estrutura e para a estrutura como um todo (figura 17), e por fim, foram criados os sistemas de produtos para realização da análise de impactos das etapas da estrutura.

Figura 17 – Fluxos de processo da estrutura

P Vigas baldrame P Pilares P Vigas Pav. S... P Vigas cobert... P Laje Térreo P Laje Pav. Su... P Laje coberta... P Estrutura de... 2

**Inputs/Outputs: Estrutura de Concreto Armado TCC**

Inputs 1.23

Flow	Category	Amount	Unit	Costs/Rev...	Uncertainty	Avoided w...	Provider	Data qualit...	Descripti...
F <sub>2</sub> Arame		40.00000	kg		none				
F <sub>2</sub> Areia		41.82000	m <sup>3</sup>		none				
F <sub>2</sub> aço		4547.26000	kg		none				
F <sub>2</sub> Barrote		267.52320	kg		none				
F <sub>2</sub> brita 3/4		31.32000	m <sup>3</sup>		none				
F <sub>2</sub> CP II E - 32 (34% de escória)		2.96012E4	kg		none				
F <sub>2</sub> disco de corte 7"		2.00000	Item(s)		none				
F <sub>2</sub> Disco de corte de aço 5"		30.00000	Item(s)		none				
F <sub>2</sub> Energy, from hydro power	Resource/in water	1278.45000	kWh		none				
F <sub>2</sub> madeirite		168.89000	m <sup>2</sup>		none				
F <sub>2</sub> malha pop		747.00000	kg		none				
F <sub>2</sub> prego		25.00000	kg		none				
F <sub>2</sub> sarrafo		661.57000	kg		none				
F <sub>2</sub> ÁGUA		18.07050	m <sup>3</sup>		none				

Outputs 1.23

Flow	Category	Amount	Unit	Costs/Rev...	Uncertainty	Avoided pr...	Provider	Data qualit...	Descripti...
F <sub>2</sub> Estrutura de Concreto Armad...		103.49000	m <sup>3</sup>		none				

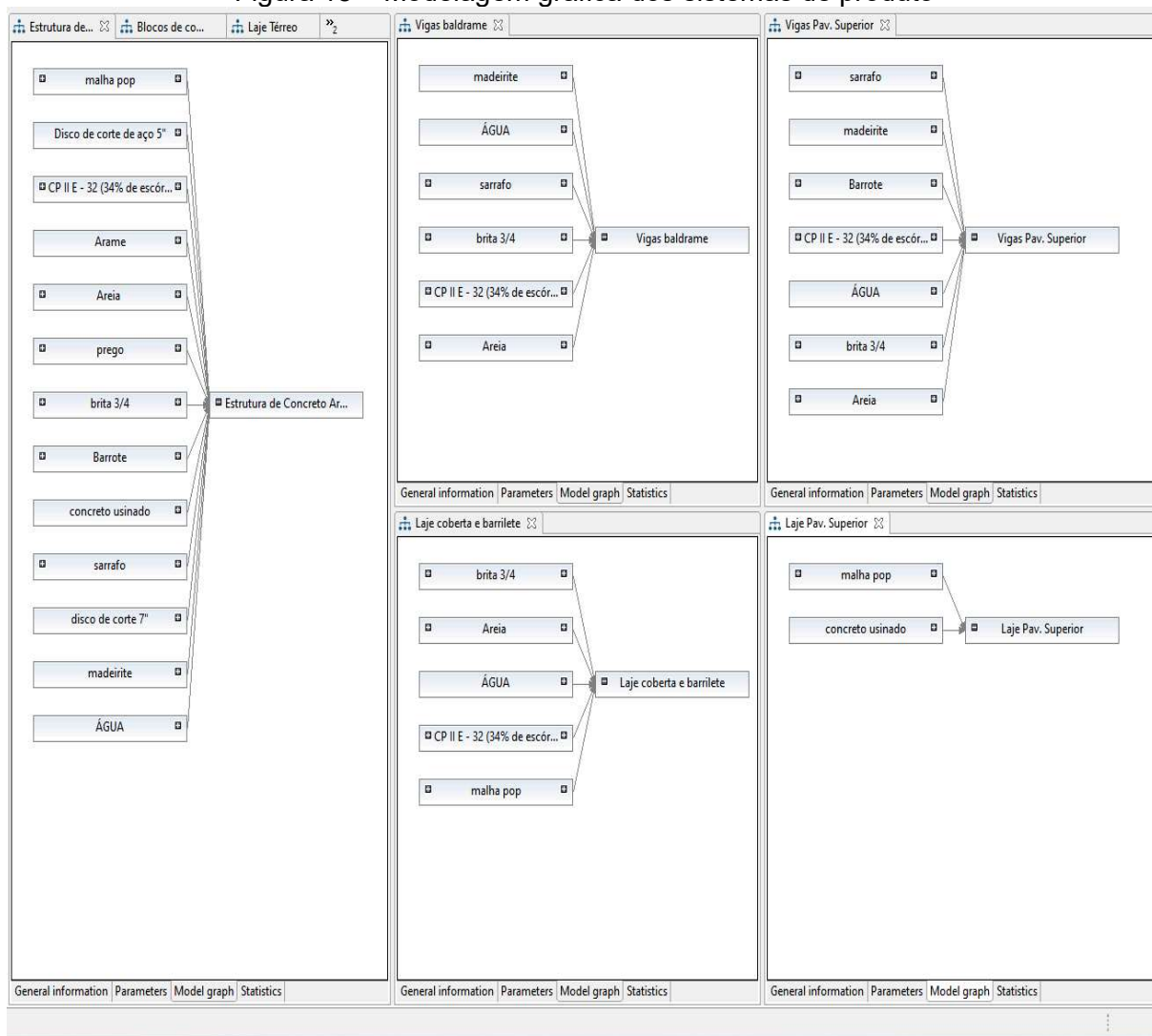
General information Inputs/Outputs Administrative information Modeling and validation Parameters Allocation Social aspects Impact analysis

Fonte: Autor (2022)

A figura 18 apresenta o esquema geral da modelagem gráfica dos sistemas de produto das etapas da estrutura, com todos os insumos que compõem as mesmas.



Figura 18 – Modelagem gráfica dos sistemas de produto



Fonte: Autor (2022)

#### 4.5 ANÁLISE DOS DADOS

Os resultados das análises de impacto por etapas estão relacionados na tabela 17, que é uma compilação dos cálculos realizados pelo *software* de acordo com cada categoria de impacto específica que o método CML *baseline* analisa. Na tabela 18, observam-se os impactos associados à estrutura como um todo.

Tabela 17 - Impactos ambientais por etapa

Impact category	Reference unit	Blocos de coroamento	Vigas baldrame	Pilares	Laje Térreo	Vigas Pav. Sup.	Laje Pav. Sup.	Vigas Coberta	Laje Coberta
Abiotic depletion	kg Sb eq	4,06617E-05	6,29295E-05	6,13165E-05	0,00012779	8,71337E-05	0,000167457	8,26156E-05	9,2941E-05
Abiotic depletion (fossil fuels)	MJ	0	0	0	0	0	0	0	0
Acidification	kg SO2 eq	3646,125545	5642,87332	5498,243288	11460,187	7813,263721	15016,47933	7408,124241	8334,624787
Eutrophication	kg PO4--- eq	370,0651884	572,7292871	558,0531253	1163,1265	793,0182821	1524,051764	751,8976792	845,9062732
Fresh water aquatic ecotox.	kg 1,4-DB eq	971,4436272	1503,440369	1464,906075	3053,27453	2081,700941	4001,057947	1973,758983	2220,553238
Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	599088,8703	927174,8034	903414,3338	1883156,31	1283792,727	2466938,162	1217224,061	1369549,706
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	56943,23899	88126,97156	85867,82748	178968,08	122022,4425	234523,6026	115695,2885	130158,3847
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	77913813,63	120581818,4	117490878,8	244872399	166960273,8	320861140,3	158302963	178088992,6
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	0,039103309	0,06051807	0,058967352	0,12289611	0,0837952	0,161018705	0,079450137	0,089378992
Photochemical oxidation	kg C2H4 eq	-198,5944273	-307,3456075	-299,462086	-624,015528	-425,552811	-818,0195098	-403,4874634	-453,8378617
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	268,046333	414,8378297	404,2051147	843,456945	574,3946757	1104,123316	544,6107354	613,3610742

Fonte: Autor (2022)

Tabela 18 - Impactos ambientais associados à estrutura

Impact category	Reference unit	Estrutura
Abiotic depletion	kg Sb eq	0,000724076
Abiotic depletion (fossil fuels)	MJ	0
Acidification	kg SO2 eq	64930,37863
Eutrophication	kg PO4--- eq	6590,165395
Fresh water aquatic ecotox.	kg 1,4-DB eq	17298,24807
Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	10671097,77
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	1013963,086
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	1387482268
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	0,696409202
Photochemical oxidation	kg C2H4 eq	-3534,965944
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	4778,333938

Fonte: Autor (2022)

A partir destes quantitativos gerais dos impactos, foi possível quantificar os impactos por m<sup>3</sup> de concreto armado para cada etapa da estrutura, para isso, foi feita uma divisão entre os elementos estruturais de superfície (tabela 19), como as lajes, os elementos de fundação (tabela 20), nesse caso os blocos de coroamento, e os elementos estruturais lineares (tabela 21), pilares e vigas. Além disso, foi feita a quantificação dos impactos por m<sup>3</sup> de concreto armado da estrutura como um todo (tabela 22), em que foi possível considerar o reaproveitamento das fôrmas.

Tabela 19 - Impactos ambientais por m<sup>3</sup> dos elementos de superfície

Impact/m <sup>3</sup>	Reference unit	Laje Térreo	Laje Pav. Sup.	Laje Coberta
Abiotic depletion	kg Sb eq	6,45424E-06	9,6019E-06	6,45424E-06
Abiotic depletion (fossil fuels)	MJ	0	0	0
Acidification	kg SO2 eq	578,7973245	861,0366586	578,793388
Eutrophication	kg PO4--- eq	58,74376257	87,38828923	58,74349119
Fresh water aquatic ecotox.	kg 1,4-DB eq	154,2057846	229,4184603	154,205086
Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	95108,90453	141452,8763	95107,61845
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	9038,791931	13447,45427	9038,776717
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	12367292,89	18398001,16	12367291,15
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	0,006206874	0,009232724	0,006206874
Photochemical oxidation	kg C2H4 eq	-31,51593574	-46,9047884	-31,51651817
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	42,59883559	63,30982316	42,59451904

Fonte: Autor (2022)

Tabela 20 - Impactos ambientais por m<sup>3</sup> dos elementos de fundação

Impact category	Reference unit	Blocos de coroamento	Impact/m <sup>3</sup>
Abiotic depletion	kg Sb eq	4,06617E-05	6,45424E-06
Abiotic depletion (fossil fuels)	MJ	0	0
Acidification	kg SO2 eq	3646,125545	578,7500865
Eutrophication	kg PO4--- eq	370,0651884	58,74050609
Fresh water aquatic ecotox.	kg 1,4-DB eq	971,4436272	154,1974011
Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	599088,8703	95093,47147
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	56943,23899	9038,609364
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	77913813,63	12367272,01
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	0,039103309	0,006206874
Photochemical oxidation	kg C2H4 eq	-198,5944273	-31,52292497
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	268,046333	42,54703698

Fonte: Autor (2022)



Tabela 21 - Impactos ambientais por m<sup>3</sup> dos elementos lineares

Impact category	Reference unit	Vigas baldrame	Pilares	Vigas Pav. Sup.	Vigas Coberta
Abiotic depletion	kg Sb eq	6,29295E-05	6,13165E-05	8,71337E-05	8,26156E-05
Abiotic depletion (fossil fuels)	MJ	0	0	0	0
Acidification	kg SO2 eq	5642,87332	5498,243288	7813,263721	7408,124241
Eutrophication	kg PO4--- eq	572,7292871	558,0531253	793,0182821	751,8976792
Fresh water aquatic ecotox.	kg 1,4-DB eq	1503,440369	1464,906075	2081,700941	1973,758983
Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	927174,8034	903414,3338	1283792,727	1217224,061
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	88126,97156	85867,82748	122022,4425	115695,2885
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	120581818,4	117490878,8	166960273,8	158302963
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	0,06051807	0,058967352	0,0837952	0,079450137
Photochemical oxidation	kg C2H4 eq	-307,3456075	-299,462086	-425,552811	-403,4874634
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	414,8378297	404,2051147	574,3946757	544,6107354

Fonte: Autor (2022)

Tabela 22 - Impactos ambientais por m<sup>3</sup> da estrutura

Impact category	Reference unit	Estrutura	Impact/m <sup>3</sup>
Abiotic depletion	kg Sb eq	0,000724076	6,99658E-06
Abiotic depletion (fossil fuels)	MJ	0	0
Acidification	kg SO2 eq	64930,37863	627,4072725
Eutrophication	kg PO4--- eq	6590,165395	63,67924819
Fresh water aquatic ecotox.	kg 1,4-DB eq	17298,24807	167,1489813
Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	10671097,77	103112,3565
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	1013963,086	9797,691426
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	1387482268	13406921,13
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	0,696409202	0,006729241
Photochemical oxidation	kg C2H4 eq	-3534,965944	-34,15756058
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	4778,333938	46,17193872

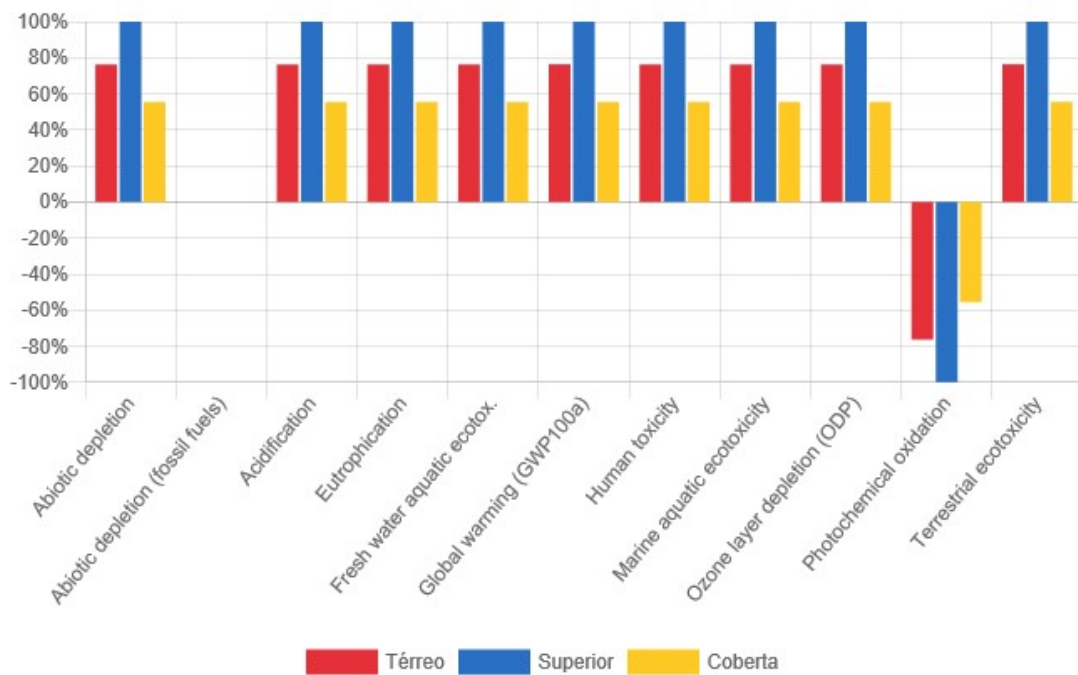
Fonte: Autor (2022)

A partir dos dados apresentados, é possível perceber que quando os impactos são normalizados pelo volume de concreto produzido, todos os elementos estruturais geram impactos praticamente iguais por m<sup>3</sup> de concreto, exceto pela laje do pavimento superior, que apresentou quantitativo de impactos por m<sup>3</sup> diferente dos demais. Isto se explica pelo fato de que o concreto utilizado neste elemento foi dosado em central e transportado para a obra, fabricado utilizando metodologia e traço próprios do fornecedor.

Todavia, para a análise dos impactos associados à estrutura como um todo, é possível perceber um ligeiro aumento em relação à soma dos impactos dos elementos isolados, isto se explica pela adição dos demais itens necessários à execução da

estrutura como pregos, discos, arame etc. No geral, é possível perceber que a quantidade de impactos é diretamente proporcional ao volume de material consumido. Foi realizado um estudo comparativo com o auxílio do *software*, entre os três elementos de superfície executados, a laje do térreo, a laje do pavimento superior e a laje de cobertura, onde se obteve o gráfico ilustrado na figura 19.

Figura 19 - Estudo comparativo entre os elementos de superfície



Fonte: Autor (2021)

## 5 CONCLUSÃO

Visto que existe uma correlação entre a quantidade de impactos associados e o volume de material consumido, conclui-se que as metodologias de otimização estrutural se apresentam como poderosas aliadas à indústria da construção civil na busca pela redução dos impactos ambientais gerados nas atividades deste setor industrial e na caminhada para alcançar a sustentabilidade.

É importante ressaltar que os processos de transporte foram preponderantes na geração de impactos, visto que elementos aos quais estão associadas maiores distâncias do local de execução, ou que possuíram etapas extras de deslocamentos, apresentaram maiores impactos.

Com a criação dos fluxos de processo e sistemas de produto no *software*, foi possível ter uma visão mais ampla dos gastos, tanto de energia quanto de material, dos processos executivos dos diferentes elementos estruturais. Além disso, a ACV destes permitiu perceber a influência de cada etapa na geração de impactos ambientais.

Com a realização da Avaliação do Ciclo de Vida da estrutura, foi possível quantificar os impactos ambientais associados à mesma, destacando os valores de *Marine aquatic ecotoxicity*, *Global Warming* e *Human toxicity*. Enquanto a normalização pelo volume de concreto permitiu perceber a relação direta entre os impactos e o consumo de matéria-prima.

Para uma análise mais completa seria interessante realizar estudos de ACV de residências completas, incluindo instalações complementares, vedação vertical, revestimento, pintura e acabamentos.

Fazer estudos de ACV de outras estruturas residenciais de variados padrões construtivos, a fim de criar uma base de estudos de ACV para a realização de comparações.

Além disso, seria interessante realizar estudos acerca da otimização estrutural e da utilização de fôrmas como um meio para redução de impactos. Bem como estudar a influência dos métodos construtivos na redução dos impactos ambientais.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

\_\_\_\_\_. NBR ISO 14040: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009a.

\_\_\_\_\_. NBR 14044: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e orientações. Rio de Janeiro, 2009b.

BARROS, M.; MELHADO, S. **Recomendações para a Produção de Estruturas de Concreto Armado em Edifícios**. Universidade de São Paulo, 1998. Disponível em: < [http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/TT\\_00004.pdf](http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/TT_00004.pdf)>. Acesso em: 12 de set. 2021

BASTOS, P. **Fundamentos do Concreto Armado**. 2019. Universidade Estadual de São Paulo – UNESP. Disponível em: <[https://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/pag\\_concreto1.htm](https://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/pag_concreto1.htm)>. Acesso em: 03 de set. 2021.

BENTO, R. Análise do Desempenho Ambiental de Estruturas de Concreto Armado: Uso da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) no processo decisório do dimensionamento. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de São Paulo, 2016.

BUNDER, J. **O Concreto: Sua origem, sua história**. Universidade de São Paulo, 2016. Disponível em: <<https://usp-br.academia.edu/jefersonbunder>>. Acesso em: 05 de set. 2021

CAMPOLINA, J. M. *et al.* Uma revisão de literatura sobre softwares utilizados em estudos de Avaliação do Ciclo de Vida. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, 2015, v. 19, n. 2, p. 735-750. Disponível em: < <https://periodicos.ufsm.br/remoa/article/view/35929/html>>. Acesso em 03 de set. 2021

CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL (CBCS). **Projeto Avaliação de Ciclo de Vida Modular de Blocos e Pisos de Concreto**. 2014. Disponível em: < [http://www.cbcs.org.br/\\_5dotSystem/userFiles/ACV-m/CBCS\\_ACV-blocos-concreto.pdf](http://www.cbcs.org.br/_5dotSystem/userFiles/ACV-m/CBCS_ACV-blocos-concreto.pdf)>. Acesso em: 05 de set. 2021

FREITAS, E. **"Industrialização do Brasil"**; *Brasil Escola*. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/brasil/industrializacao-do-brasil.htm>. Acesso em 03 de setembro de 2021.

JOHN, V. *et al.* **Proposta Prática para Avaliar o Desempenho Ambiental no Ciclo de Vida da Construção**. Revista Concreto e Construções, 2020. Disponível em:<[https://www.researchgate.net/publication/346954386\\_Proposta\\_de\\_metodo\\_pratico\\_para\\_avaliar\\_o\\_desempenho\\_ambiental\\_no\\_ciclo\\_de\\_vida\\_da\\_construcao](https://www.researchgate.net/publication/346954386_Proposta_de_metodo_pratico_para_avaliar_o_desempenho_ambiental_no_ciclo_de_vida_da_construcao)>. Acesso em: 04 de set. 2021

LAMBERTI, L.; ISAIA, G. *et al.* **Avaliação do Ciclo de Vida de Um Pilar com Diferentes Traços de Concreto**. 6º Fórum Internacional Ecoinnovar, Santa Maria/RS, 2017. Disponível em: <<http://ecoinovar.com.br/cd2017/arquivos/artigos/ECO1440.pdf>>. Acesso em: 08 de set.2021

LIMA, S. A. *et al.* Concretos com cinza do bagaço da cana-de-açúcar: avaliação da durabilidade por meio de ensaios de carbonatação e abrasão. *Ambiente Construído*. Porto Alegre, p. 201-212. jun. 2011.

MENDES, N. C. *et al.* **Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida: Revisão dos Principais Métodos**. 2013. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/284281194\\_Avaliacao\\_de\\_Impacto\\_do\\_Ciclo\\_de\\_Vida\\_revisao\\_dos\\_principais\\_metodos](https://www.researchgate.net/publication/284281194_Avaliacao_de_Impacto_do_Ciclo_de_Vida_revisao_dos_principais_metodos)>. Acesso em: 08 de set. 2021

NOSSO FUTURO COMUM (Relatório Brundtland). Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento. Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getulio Vargas, 1988.

PAULA, R. R. **Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) de Argamassas e Concretos produzidos com Resíduos de Construção e Demolição (RCD)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ/ COPPE, Rio de Janeiro, 2016.

RAMIRES, J. C. **O Processo de Verticalização das Cidades Brasileiras**. *Boletim de Geografia*, v. 16, ed. 1, 1998. Disponível em: <<https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/BolGeogr/article/download/12156/7320/>> Acesso em: 10 de set. 2021

SANTOS, F. B. **"O início da industrialização brasileira"**; *Brasil Escola*. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/historiab/industrializacao-brasileira.htm>. Acesso em 03 de setembro de 2021.