

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA, CAMPUS DE SÃO JOÃO DA BOA VISTA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA INTERUNIDADES
DA UNESP

CAIO HENRIQUE TEIXEIRA ALBERTO

ECODESIGN DE ANTENAS HELICOIDAIS COM BANDA DUPLA PARA TECNOLOGIA
WI-FI

SÃO JOÃO DA BOA VISTA/SP

2023

CAIO HENRIQUE TEIXEIRA ALBERTO

DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE ANTENA COM MELHORAMENTO NO
DESEMPENHO AMBIENTAL E TECNOLÓGICO

Texto de defesa apresentado à Universidade Estadual Paulista
“Júlio de Mesquita Filho” como requisito parcial para a
obtenção de título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Rafael Abrantes Penchel
Coorientador: Prof. Dr. José Augusto de Oliveira

SÃO JOÃO DA BOA VISTA/SP

2023

A334e

Alberto, Caio Henrique Teixeira

Ecodesign de Antenas Helicoidais com Banda Dupla para Tecnologia Wi-Fi :
Desenvolvimento de um protótipo de antena com melhoramento no desempenho
ambiental e tecnológico / Caio Henrique Teixeira Alberto. -- São João da Boa Vista,
2023

101 p. : il., tabs., fotos

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Engenharia, São João da Boa Vista

Orientador: Rafael Abrantes Penchel

Coorientador: José Augusto de Oliveira

1. Telecomunicação. 2. Engenharia Elétrica. 3. Sustentabilidade. 4. Antenas. 5.
Tecnologia. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Engenharia, São João da Boa Vista. Dados
fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

Essa pesquisa possui como objetivo para a sociedade, a conscientização a respeito do acúmulo de lixo eletrônico produzido diariamente em crescimento exponencial, de forma que caso não seja tratado corretamente acarretará impactos ambientais para as gerações futuras.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

This research aims to raise awareness among society about the exponentially growing accumulation of electronic waste produced daily, so that if it is not treated correctly, it will cause environmental impacts for future generations.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de São João da Boa Vista



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Ecodesign de antenas helicoidais com banda dupla para tecnologia Wi-Fi

AUTOR: CAIO HENRIQUE TEIXEIRA ALBERTO

ORIENTADOR: RAFAEL ABRANTES PENCHEL

COORDINADOR: JOSÉ AUGUSTO DE OLIVEIRA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Elétrica, área: Sistemas Eletrônicos pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. RAFAEL ABRANTES PENCHEL (Participação Virtual)

Departamento de Engenharia Eletronica e de Telecomunicacoes / Faculdade de Engenharia de Sao Joao da Boa Vista UNESP

Prof. Dr. IVAN ARITZ ALDAYA GARDE (Participação Virtual)

Departamento de Engenharia Eletronica e de Telecomunicacoes / Faculdade de Engenharia de Sao Joao da Boa Vista UNESP

Pesquisadora Dra. MIRIAN PAULA DOS SANTOS (Participação Virtual)

Center for Advanced and Sustainable Technologies (CAST) / Faculdade de Engenharia de São João da Boa Vista

Profª. Drª. YOVANA MARÍA BARRERA SAAVEDRA (Participação Virtual) Centro de Ciências da Natureza (CCN) / UFSCAR - Lagoa do Sino

São João da Boa Vista, 01 de setembro de 2023

Verônica Liberali Messias
Supervisora Técnica de Seção
Seção Técnica de Graduação e Pós-Graduação

DEDICO

Este projeto de pesquisa ao meu padrinho, Dr. Ricardo Contrucci Montaña (in memoriam), a minha tia, Dra. Ana Elisa Teixeira Pasquim (in memoriam) e ao meu avô, meu amigo e minha maior referência na área de Engenharia Elétrica, Sr. Ventura Teixeira Netto (in memoriam), cujas presenças foram essenciais em minha vida.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus por não deixar eu desistir de meus objetivos e manter meu foco para sempre conquistá-los, a instituição Unesp pela oportunidade do conhecimento e aos meus orientadores Prof^o Dr. Rafael Abrantes Penchel e Prof.^o Dr José Augusto de Oliveira que forneceram todo o suporte para a realização deste projeto. Agradeço também a Padtec S/A, e aos colaboradores do NOC Padtec e TPM Padtec que sempre se dispuseram a me apoiar nesse objetivo. Por fim e principalmente, meus pais Walter e Maria Luisa, meus irmãos Caique e Camilly e minha namorada Suelen, por todo incentivo durante os anos de mestrado.

“Deixem que o futuro diga a verdade e avalie cada um de acordo com o seu trabalho e realizações. O presente pertence a eles, mas o futuro pelo qual eu sempre trabalhei pertence a mim”.

(Nikola Tesla)

RESUMO

Na atual sociedade, as antenas desempenham um papel fundamental para os meios de comunicação e troca de informações. Um dos modelos mais utilizados e amplamente encontrado é a Antena Wi-Fi. A pesquisa utilizou da técnica Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) em uma Antena Wi-Fi que possui faixa de frequência de 2,4GHz/5,8GHz e 5dBi, com o intuito de avaliar os potenciais impactos ambientais negativos gerados durante o ciclo de vida do produto, e na sequência, aplicar técnicas de Ecodesign para melhorar o desempenho ambiental do produto. O processo foi todo instruído e inicializado conforme as normas técnicas da ABNT 14040 (2009) e 14044 (2009). Primordialmente foi realizada a engenharia reversa do produto, sendo cada componente avaliada em relação a material, massa e energia para fabricação, conforme o auxílio de artigos científicos e datasheets encontrados na literatura. Processos de elaboração e construção específicos de cada peça, bem como seus designs, foram levados com extrema relevância para a ponderação dos cálculos posteriores. As etapas em questão mencionadas acima, pertencem ao Inventário do Ciclo de Vida (ICV), do produto analisado. Após esses procedimentos, todas as entradas obtidas foram inseridas do software GaBi Professional, utilizando a metodologia CML 2001/2016, onde categorias específicas de impactos ambientais revelaram qual componente, bem como seu subsistema pertencente era causador de maiores danos ambientais, etapa essa denominada Avaliação do Inventário do Ciclo de Vida (AICV). Por fim, baseado nas informações obtidas e em princípios e aplicações do Ecodesign, possíveis cenários de melhorias foram gerados a fim de garantir um melhor desempenho ambiental sem afetar o desempenho técnico do produto. Como resultado, foi verificado que os subsistemas estrutura externa e filamento interno eram os mais impactantes devido a presença de TPU + ABS/PC e Cobre respectivamente, sendo substituídos posteriormente pelos melhores cenários compostos por Aço-carbono e Bio-PP.

PALAVRAS-CHAVE: Avaliação do Ciclo de Vida. Ecodesign. Antena Wi-Fi. Cobre.

ABSTRACT

In today's society, antennas play a fundamental role in the means of communication and information exchange. One of the most used and widely found models is the Wi-Fi Antenna. The research used the Life Cycle Assessment (LCA) technique in a Wi-Fi Antenna that has a frequency range of 2.4GHz/5.8GHz and 5dBi, in order to evaluate the negative environmental potentials generated during the life cycle of the product, and then apply Ecodesign techniques to improve the product's environmental performance. The process was fully instructed and started according to the technical standards of ABNT 14040 (2009) and 14044 (2009). Primarily, the reverse engineering of the product was carried out, with each component evaluated in relation to material, mass and energy for manufacturing, according to the aid of scientific articles and technical data sheets found in the literature. Specific elaboration and construction processes for each piece, as well as their projects, were taken with extreme significance for the weighting of subsequent calculations. As steps in the issues mentioned above, ownership of the Life Cycle Inventory (LCI) of the analyzed product. After these procedures, all entries were incorporated into the GaBi Professional software, using the CML 2001/2016 methodology, where specific categories of environmental impacts revealed which component, as well as its belonging subsystem, caused major environmental damage, a stage called Inventory Assessment of the Life Cycle (LCIA). Finally, based on the transmitted information and on Ecodesign principles and applications, possible improvement scenarios were generated in order to guarantee a better environmental performance without affecting the technical performance of the product. As a result, it was verified that the external structure and internal filament subsystems were the most impactful due to the presence of TPU + ABS/PC and Copper respectively, being later replaced by the best scenarios composed of Carbon Steel and Bio-PP.

KEYWORDS: Life Cycle Assessment. Ecodesign. Wi-Fi antenna. Copper.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Classificação e quantidades de substancias proibidas pela RoHS.	23
Figura 2 - Ferramentas ambientais utilizadas em artigos de Ecodesign com aplicação a produtos eletrônicos.	38
Figura 3 – Ferramentas ambientais utilizadas em artigos de Ecodesign com aplicação a fases do ciclo de vida de produtos eletrônicos.	38
Figura 4 – Fluxograma módulos de aplicação Ecodesign em smartphones.	40
Figura 5 – Interface software de avaliação ambiental Ecodesign Pilot.	42
Figura 6 – Ideias para melhoria Digital Voice Recorder plotadas no Ecodesign Pilot.	44
Figura 7 – Resultado de Ecodesign para o Digital Voice Recorder.	44
Figura 8 – Esquemático relacionado a estrutura interna. Filamento irradiador e bobina.	52
Figura 9 – Imagem real da estrutura interna de uma Antena Wi-Fi.	53
Figura 10 – Representação real Antena Wi-Fi.	54
Figura 11 – Fluxograma de fases do AICV.	55
Figura 12 – Interface da produção da Antena Wi-Fi no software GaBi Professional.	61
Figura 13 – Plano de produção do componente filamento bobina de cobre.	61
Figura 14 – Normalização interna referente ao filamento irradiador no cenário base.	63
Figura 15 – Normalização interna referente a estrutura externa no cenário base.	64
Figura 16 – Normalização interna referente ao conector SMA no cenário base.	65
Figura 17 – Gráfico comparativo, normalização interna subsistemas do cenário base.	66
Figura 18 – Fatores de normalização e equivalência fornecidos pelo GaBi software.	70
Figura 19 – Gráfico comparativo, normalizações externas para cenários: subsistema filamento interno irradiador e bobina.	76
Figura 20 – Gráfico comparativo, normalizações externas para cenários: subsistema estrutura externa.	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Componentes, processos específicos, recursos e montagem do cenário base.	51
Tabela 2 – Categorias de impactos ambientais utilizadas pela metodologia CML 2001.	58
Tabela 3 – Tabela de resultados do filamento interno da Antena Wi-Fi (Cenário base).	62
Tabela 4 – Tabela de resultados da estrutura externa da Antena Wi-Fi (Cenário base).....	63
Tabela 5 – Tabela de resultados do conector SMA da Antena Wi-Fi (Cenário base).....	65
Tabela 6 – Resultados totais para categorias de impacto referente a Antena Wi-Fi.	66
Tabela 7 – Resultados para categorias de impacto: cenário filamento irradiador de Alumínio.	69
Tabela 8 – Normalização externa para categorias de impacto: cenário filamento irradiador e bobina de Alumínio.	70
Tabela 9 – Resultados para categorias de impacto: cenário filamento irradiador de Zinco.	71
Tabela 10 – Normalização externa para categorias de impacto: cenário filamento irradiador e bobina de Zinco.....	72
Tabela 11 – Resultados para categorias de impacto: cenário filamento irradiador de Aço carbono.	73
Tabela 12 – Resultados para categorias de impacto: cenário filamento irradiador de Aço inoxidável 304.....	73
Tabela 13 – Normalização externa para categorias de impacto: cenário filamento irradiador e bobina de Aço carbono.	74
Tabela 14 – Normalização externa para categorias de impacto: cenário filamento irradiador e bobina de Aço inoxidável 304.....	74
Tabela 15 – Resultados comparativos de impactos ambientais para os cenários do Filamento irradiador e bobina.	75
Tabela 16 – Resultados comparativos normalizados externamente de impactos ambientais para os cenários do Filamento irradiador e bobina.	76
Tabela 17 – Resultados para categorias de impacto: cenário estrutura externa de HDPE.	78
Tabela 18 – Normalização externa para categorias de impacto: cenário estrutura externa composta por HDPE.	79
Tabela 19 – Resultados para categorias de impacto: cenário estrutura externa de Bio-PVC.....	80
Tabela 20 – Resultados para categorias de impacto: cenário estrutura externa de Bio-PET.	80
Tabela 21 – Resultados para categorias de impacto: cenário estrutura externa de Bio-PP.	81
Tabela 22 – Normalização externa para categorias de impacto: cenário estrutura externa composta por Bio-PVC.....	82
Tabela 23 – Normalização externa para categorias de impacto: cenário estrutura externa composta por Bio-PET.....	82
Tabela 24 – Normalização externa para categorias de impacto: cenário estrutura externa composta por Bio-PP.	83
Tabela 25 – Resultados comparativos de impactos ambientais para os cenários da Estrutura externa.	84
Tabela 26 – Resultados comparativos normalizados externamente de impactos ambientais para os cenários do Estrutura externa.	84
Tabela 27 – Pesos dos componentes em laboratório.....	90
Tabela 28 – Energias calculadas na fabricação dos componentes.	91
Tabela 29 – ICV completo Antena Wi-Fi.	92
Tabela 30 – Datasheet parcial antena Wi-Fi Taoglass.	93
Tabela 31 – Datasheet parcial Antena Wi-Fi Taoglass, caracterização.	94
Tabela 32 – Datasheet parcial Antena Wi-Fi Taoglass, projeto esquemático.	95
Tabela 33 - Datasheet parcial conector SMA, projeto esquemático.	96
Tabela 34 - Datasheet parcial estrutura interna conector SMA.....	96

Tabela 35 – Relatório parcial de produção empresa Shenzhen Yetnorson.	97
Tabela 36 – Continuação relatório parcial de produção empresa Shenzhen Yetnorson.	98
Tabela 37 – Processo de produção básico para metais cobre, zinco, latão e ligas de alumínio.	99
Tabela 38 – Processo de extrusão para plásticos.....	100

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABS	Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
ADP	Abiotic Depletion Potential
AICV	Avaliação do Inventário do Ciclo de Vida
AP	Acidification Potential
BID	Banco Interamericano de Desenvolvimento
CAST	Center for Advanced and Sustainable Technologies
CH ₄	Metano
CO ₂	Dióxido de Carbono
CRT	Catodics Rays Tube
DPM	Digital Pocket Memo
DfE Matrix	Matriz de Design para o Ambiente
EP	Eutrophication Potential
ERPA	Matriz de Avaliação da Responsabilidade Ambiental do Produto
EEA	Análise de Efeito Ambiental
EoL	End of Life
FAETP	Freshwater Aquatic Ecotoxicity Potential
FMEA	Failure Mode Effect Analysis
FCC	Federal Communications Commission
GWP	Potencial de Aquecimento Global
HTP	Human Toxicity Potential
H ₂ SO ₄	Ácido Sulfúrico
HNO ₃	Ácido Nítrico
IBAMA	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais
Renováveis	
ICV	Inventário do Ciclo de Vida
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ISM	Industrial Scientific and Medical
IICA	Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura
LCD	Liquid Crystal Display
MAETP	Marine Ecotoxicity Potential

MECO	Materials, Energy, Chemicals and Others
MET	Materials, Energy and Toxicity
MJ	Megajoules
N	Nitrogênio
NBR	Norma Técnica Brasileira
NO ₂	Dióxido de Nitrogênio
ODP	Ozone Layer Depletion Potential
PC	Polycarbonato
PDP	Planejamento e Desenvolvimento do Produto
PE	Polietileno
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
POCP	Photochemical Ozone Creation Potential
PTFE	Politetrafluoretileno
PS	Poliestireno
QFD	Quality Function Deployment
QFDE	Quality Function Deployment for Environment
REEE	Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos
SMA	Subminiature version A
SO ₂	Dióxido de Enxofre
TETP	Terrestrial Ecotoxicity Potential
TPU	Termoplástico Poliuretano
WLAN	Wireless Local Area Network
WEEE	Waste Electrical and Electronic Equipment
WEP	Wired Equivalency Privacy
WI-FI	Wireless Fidelity

Sumário

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO MODELO WI-FI	17
1.2 PADRONIZAÇÃO IEEE 802.11.....	18
1.3 CARACTERIZAÇÃO DE UMA ANTENA HELICOIDAL	19
1.4 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DO MERCADO WI-FI	20
1.5 LEGISLAÇÕES NACIONAIS E INTERNACIONAIS RELACIONADAS A PRODUTOS ELETRÔNICOS	21
1.6 MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVA	24
1.7 OBJETIVOS	27
1.8 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	28
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA.....	29
2.1 ECODESIGN: DEFINIÇÃO E PRINCÍPIOS BÁSICOS.....	29
2.2 ECODESIGN: MÉTODOS E FERRAMENTAS	31
2.3 APLICAÇÃO DE ECODESIGN EM ANTENAS E COMPONENTES ELETRONICOS NA LITERATURA.....	37
2.3.1 ESTUDO DE CASO 1: APLICAÇÃO DE ECODESIGN EM SMARTPHONES, TABLETS, NOTEBOOKS E COMPUTADORES	37
2.3.2 ESTUDO DE CASO 2: APLICAÇÃO DE ECODESIGN EM CELULARES COREANOS E EUROPEUS (TELA DE DISPLAY).....	40
2.3.3 ESTUDO DE CASO 3: APLICAÇÃO DE ECODESIGN EM DIGITAL VOICE RECORDER DA PHILLIPS.....	41
2.4 APLICAÇÃO DE ECODESIGN NO DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS ELETRONICAS NA LITERATURA.....	46
2.4.1 ESTUDO DE CASO 4: APLICAÇÃO DE ECODESIGN EM USINAS FOTOVOLTAICAS	46
3 MATERIAIS E MÉTODOS	49
3.1 OBJETIVO E ESCOPO	49
3.2 ACV E SUAS ETAPAS.....	49
3.2.1 ANÁLISE DO INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA	49
3.2.2 PROCESSOS E COMPONENTES.....	50
3.2.3 AVALIAÇÃO DE IMPACTO DO CICLO DE VIDA	54
3.2.4 DEFINIÇÃO DE CATEGORIA DE IMPACTO.....	55
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	60
5 CENÁRIOS DE ECODESIGN	68
5.1 CENÁRIO 1 – FILAMENTO IRRADIADOR E BOBINA A BASE DE ALUMÍNIO	68
5.2 CENÁRIO 2 – FILAMENTO IRRADIADOR E BOBINA A BASE DE ZINCO	71

5.3 CENÁRIOS 3 E 4 – FILAMENTO IRRADIADOR E BOBINA A BASE DE AÇO CARBONO E AÇO INOXIDÁVEL 304	72
5.4 CENÁRIO COMPARATIVO – SUBSISTEMA FILAMENTO IRRADIADOR E BOBINA .	75
5.5 CENÁRIO 1 – ESTRUTURA EXTERNA A BASE DE HDPE	77
5.6 CENÁRIO 2 – ESTRUTURA EXTERNA A BASE DE BIO-POLÍMEROS (BIO-PVC, BIO-PET E BIO-PP)	79
5.7 CENÁRIO COMPARATIVO – SUBSISTEMA ESTRUTURA EXTERNA.....	83
6 CONCLUSÕES.....	87
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89
APÊNDICE A – INVENTÁRIO DOS MATERIAIS CARACTERIZADOS.....	90
APÊNDICE B – ENERGIA UTILIZADA.....	91
APÊNDICE C – ICV DA ANTENA WI-FI	92
ANEXO A – DATASHEET ANTENA WI-FI	93
ANEXO B – DATASHEET CONECTOR SMA	96
ANEXO C – RELATÓRIO DE PRODUÇÃO EMPRESA CHINESA.....	97
ANEXO D – PROCESSO DE PRODUÇÃO BÁSICO DE METAIS.....	99
ANEXO E – PROCESSO DE EXTRUSÃO PARA POLÍMEROS	100

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO MODELO WI-FI

A tecnologia Wi-Fi, presente no cotidiano das pessoas desde sua concepção na década de 90, teve como objetivo definir um padrão de comunicação sem fio para curtas distâncias. Os responsáveis por sua criação foram membros pertencentes ao IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) e o FCC (*Federal Communications Commission*), órgão norte americano similar a Anatel. Definida com a nomenclatura padrão IEEE 802.11, onde a própria denominação a caracterizava como uma distinção perante tecnologias momentâneas além de elevá-la a um patamar distinto das concorrentes. Como diferencial, possui sua elevada taxa de transferência de dados que para aquele cenário, era algo inovador alcançando taxas na casa dos 1 Mbps (GARCIA, 2020).

Mais tarde em 1999, denominados padrões IEEE 802.11a e 802.11b, os mesmos passaram a utilizar as faixas de frequência de 2,4 e 5GHz, permitindo assim alcançar taxas de transmissão de 11 Mbps para o padrão B e 1 a 2 Mbps para o padrão A. Posteriormente nos anos 2000, surgiram os primeiros *hotspots*, que nada mais são que espaços públicos que ofereciam aos usuários a conexão sem fio, desde que possuíssem um dispositivo compatível para o acesso, sendo os adventos dos smartphones os grandes responsáveis pela expansão (KUROSE, 2010).

Em relação ao meio empresarial, as redes locais podem possuir padrões próprios (estabelecidos pela própria empresa) ou padrões IEEE. Um exemplo de tal distinção, foram as denominadas redes WLAN (*Wireless Local Area Network*), onde em seu início, empresas como IBM e Cisco, entre outras utilizavam de padronizações próprias baseando-se em suas necessidades. Atualmente, o cenário é o oposto onde essas e outras empresas buscam utilizar os padrões IEEE devido as grandes vantagens oferecidas tais como, custo reduzido, manuseio de informações, maior confiabilidade em projetos e demanda de mercado (SANKAR, 2004).

No Brasil, a tecnologia foi introduzida em 2008, ao mesmo tempo que equipamentos que possuíam o sistema de operação Android se popularizaram no país. Sendo assim, os usuários começaram a buscar cada vez mais no mercado dispositivos móveis que oferecessem tal tecnologia, uma vez que ambas ofereciam uma ligação de dependência com a outra. Os populares roteadores, também passaram a ser itens indispensáveis para que o usuário realizasse total acesso a rede com elevadas taxas de transmissão de dados (KUROSE, 2010).

Ademais das padronizações citadas acima, no próximo tópico outros serão contextualizados. A tendência atual e futura, é cada vez mais as redes cabeadas deixem de existir e passem a ser substituídas por redes sem fio e outras tecnologias, a exemplo da fibra óptica denominadas tecnologias do futuro (TANEMBAUM, 2011).

1.2 PADRONIZAÇÃO IEEE 802.11

As distinções perante as padronizações citadas no tópico anterior, sempre foram estabelecidas conforme necessidade do momento. A exemplo, tem-se o padrão IEEE 802.11b criado a partir da necessidade do meio empresarial, elevando ainda mais as taxas oferecidas na época que não superavam a casa dos Kbps. Porém a tecnologia avança a nível exponencial, e nesse tópico outras padronizações serão apresentadas bem como suas vantagens em comparação as demais (MENESES, 2009).

IEEE 802.11a: primeira padronização criada possuindo apenas as camadas de enlace e física. Trabalha na faixa de frequência de 5 GHz e possui taxas de transferência de 1 a 2 Mbps (MENESES, 2009).

IEEE 802.11b: em sua implantação necessitava de uma maior estrutura WLAN para ser utilizada. Possui características que são compostas de um sistema de rádio e especificações de segurança, o qual acabam estando presentes na padronização. Iniciasse-se a utilização do protocolo WEP (*Wired Equivalency Privacy*), trabalho na banda ISM (*Industrial Scientific and Medical*) na faixa de frequência de 2,4 GHz e taxa de velocidade de 11Mbps (MENESES, 2009).

IEEE 802.11g: é a atual padronização mais aplicada em características de rede sem fio. Em sua faixa de frequência, prossegue sendo aplicado na banda ISM em 2,4 GHz e ainda trabalhando taxas de 54 Mbps ou superiores (MENESES, 2009).

IEEE 802.11e: possui como vantagens, convergência com os padrões 802.11a e 802.11b, melhorias em relação a aplicabilidade multimídia, parâmetros de segurança, qualidade de serviço sendo esta última a melhor definição para o padrão 802.11e (MENESES, 2009).

IEEE 802.11n: criado em 2009 e pertencente a gerações mais recentes, possui taxas superiores a 72Mbps chegando até a 600Mbps (KHOROV, 2020).

IEEE 802.11ac e ax: desenvolvidos a partir de 2013 com taxas entre 433 a 9608 Mbps. Pioneira na faixa de frequência de 5 GHz (KHOROV, 2020).

IEEE 802.11be: padronização mais recente e com taxas de transferência de 40000 Mbps (KHOROV, 2020).

1.3 CARACTERIZAÇÃO DE UMA ANTENA HELICOIDAL

Para melhor entendimento do produto a ser analisado nessa dissertação, deve-se direcionar o tipo e características do objeto, assim como modelo e parâmetros. Tratando-se de antenas helicoidais, em sua estrutura há a combinação de dois elementos híbridos compostos por antenas do tipo loop e dipolo (BALANIS, 2014).

Para ser definida como helicoidal, seu elemento radiante ou irradiador, deve possuir o fio condutor enrolado no formato de uma hélice e na grande maioria dos casos ser posicionada acima de um plano de aterramento onde haja uma conexão entre a parte inferior da hélice e o *ground*, sem estar em contato com o plano terra, geralmente realizada por uma linha alimentadora. Esse modelo de antena, possui características específicas para que sejam utilizadas em aplicações como rádios, comunicações via satélite e sem fio mencionadas abaixo (BALANIS, 2014).

O modelo helicoidal, possui dois modos de operação (normal e axial) bem como características de trabalho distintas (BALANIS, 2014). Em relação ao modo de operação quando age no modo normal:

- O diâmetro e o passo da hélice possuem menores dimensões em comparação ao comprimento de onda;
- Sendo assim, a operação gera um cenário similar a um pequeno monopolo ou dipolo elétrico;
- Sua radiação é linearmente polarizada paralela ao eixo gerando assim parâmetros máximos perpendicularmente ao eixo da hélice;
- Por possuir dimensões menores, o modo normal possui largura de banda estreita além de baixa eficiência;

Para o modo axial, as seguintes características podem ser analisadas:

- Diâmetro e passo da hélice possuem tamanhos equivalentes em relação ao comprimento de onda;
- Esse modo trabalha como uma antena direcional;

Antenas helicoidais são construídas facilmente para produzirem campos polarizados circularmente em sua maioria. Também são consideradas excelentes para trabalho que visa uma polarização circular em modo de operação axial. Por fim, esse tipo de antena quando opera no modo normal geralmente são utilizadas para rádios móveis e antenas transmissoras. No modo axial, são mais aplicadas em comunicação via satélite (BALANIS, 2014).

1.4 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DO MERCADO WI-FI

O que torna a tecnologia Wi-Fi destaque no mercado desde sua origem em 1997, é a acessibilidade, sendo que uma vez que o acesso não fosse equitativo a todos à internet, apenas pessoas com maior poder financeiro poderiam usufruir da tecnologia ao possuir equipamentos para acesso como smartphones, tablets ou notebooks. A tecnologia em si não necessita de licença para ser utilizada, apenas um dispositivo adequado que possua os componentes necessários (exemplo a Antena Wi-Fi) a fim de realizar a conexão usuário a rede.

Sendo assim, conforme explicado acima, milhões de pessoas seriam impactadas caso não possuíssem nenhum tipo de acesso à internet, pela inexistência da tecnologia Wi-Fi em hipótese. Por outro lado, em relação ao aspecto econômico, o mercado dessa tecnologia movimenta bilhões de dólares por ano. Segundo Dorothy Stanley, da Associação de Padrões do Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos (IEEE SA), o impacto é fenomenal o quanto a conectividade modifica a vida das pessoas (IEEE SA, 2019).

De acordo com a Wi-Fi Alliance, responsável pela marca Wi-Fi e organização sem fins lucrativos, até o fim de 2022 é esperado que 18 bilhões de dispositivos estarão além de habilitados, totalmente sendo utilizados pelos usuários da tecnologia. Outras estimativas relevantes, o valor econômico da marca é de US\$ 3,3 trilhões o equivalente a R\$ 17,6 trilhões até o ano de 2021. Até 2025, a estimativa do valor de mercado eleve-se a US\$ 4,9 trilhões ou R\$ 26,1 trilhões (WI-FI ALLIANCE, 2022).

Uma outra razão que impulsionou o aumento do valor de mercado do Wi-Fi é a pandemia global provocada pelo coronavírus. A necessidade de adotar o trabalho remoto e modelos híbridos nas empresas elevou consideravelmente os requisitos de desempenho, eficiência, confiabilidade e segurança das conexões Wi-Fi. Isso levou a investimentos sem precedentes, já que a continuidade das atividades globais exigia soluções inovadoras. Historicamente, tanto guerras quanto pandemias, apesar dos cenários destrutivos que podem trazer, sempre serviram como catalisadores do progresso, impulsionando avanços significativos em diversas áreas (IEEE SA, 2019).

Segundo um estudo realizado pelo Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura (IICA), Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) e apoio da Microsoft realizado em 2021, cerca de 244 milhões de pessoas na América Latina não possuíam qualquer acesso à internet, porém após a pandemia muitos pontos gratuitos de internet foram oferecidos pelo governo com o intuito de disseminar o conhecimento a respeito da doença e possíveis formas de precaução (WI-FI ALLIANCE, 2022).

Ainda segundo Dorothy Stanley, colaboradora do IEEE SA, após a pandemia áreas remotas de países menos desenvolvidos como Índia e México com apoios de seus respectivos governos, implementaram uma variedade de sistemas híbridos de conexão via satélite, comunicação sem fio e fibra óptica. A exemplo do México, a cidade do México cerca de 21,5 mil *hostpots* ou pontos gratuitos de internet foram disponibilizados para a população, condecorando-a pelo *Guinness World Records* como a cidade mais conectada do mundo (IEEE SA, 2019).

Com base nos exemplos acima, entende-se a importância da questão socioeconômica da tecnologia Wi-Fi com a população, uma vez que muitas informações divulgadas pela mídia nem sempre chegam a todos os pontos do globo, tornando-se obrigação dos líderes mundiais maiores investimentos em tecnologia oferecida diretamente ao povo, um ato extremamente importante.

1.5 LEGISLAÇÕES NACIONAIS E INTERNACIONAIS RELACIONADAS A PRODUTOS ELETRÔNICOS

Nesta seção, abordaremos conhecimentos relacionados às diretrizes e legislações que têm como propósito salvaguardar o meio ambiente no que se refere à problemática dos resíduos sólidos. No contexto das antenas, é essencial destacar a conexão significativa entre esses resíduos e a geração de lixo eletrônico. Para facilitar a compreensão, resíduos sólidos se referem a substâncias que podem surgir durante o processo de fabricação ou ser descartadas após a utilização de um produto, quando este alcança o final de sua vida útil (RODRIGUES, 2021).

No caso específico das antenas, considerando a evolução tecnológica e a constante atualização de equipamentos de comunicação, é vital entender a maneira como essas estruturas podem contribuir para o acúmulo de resíduos sólidos. Isso pode ocorrer devido à substituição frequente de antenas antigas por modelos mais modernos, levando a um aumento na produção de resíduos eletrônicos. Portanto, a análise das diretrizes e regulamentos que regem a gestão adequada desses resíduos é de suma importância para minimizar impactos ambientais negativos e promover práticas sustentáveis na indústria de comunicações (RODRIGUES, 2021).

Para o caso de lixo eletrônico, os resíduos sólidos podem ser os mais variados como: fios elétricos, baterias de zinco ou lítio, carcaças de eletrônicos, antenas, capacitores, placas gerenciadoras, monitores, notebooks, tablets, computadores, em resumo tudo que possua em seu interior algum ou mais componentes eletrônicos. Porém, a questão é como esses materiais podem ou não serem reutilizados e em caso de negativa, qual é a forma adequada de descartá-los (KEMERICH, 2021).

Nesse primeiro momento, de modo mais abrangente será abordado em complemento as informações acima o decreto nº10.936, de janeiro de 2022 regulamentado a partir da Lei nº12.305, de 2 de agosto de 2010 que estabelece a Política Nacional de Resíduos Sólidos. No decreto, precisamente o capítulo 3, título 3 e artigo 30 estabelece diretrizes que são necessárias serem seguidas a fim de gerar um destino correto para esses resíduos sólidos produzidos ou descartados (PNRS, 2010). As seguintes diretrizes podem ser definidas da seguinte forma: Art. 30.: Na gestão e no gerenciamento de resíduos sólidos, será observada a seguinte ordem de prioridade:

- Não geração de resíduos sólidos;
- Redução de resíduos sólidos;
- Reutilização de resíduos sólidos;
- Reciclagem de resíduos sólidos;
- Tratamento de resíduos sólidos
- E disposição final (descarte adequado) ambientalmente aos rejeitos.

Ou seja, seguindo as diretrizes acima, há mais de uma forma de reutilização dos resíduos sólidos a ser analisada antes do descarte ambiental adequado em lixões, aterros sanitários ou incineradores. Essa é apenas uma pequena seção de um decreto que aborda uma variedade de proteções minuciosas ao meio ambiente relacionadas: aos geradores de resíduos sólidos, coleta seletiva, logística reversa, gestão e gerenciamento, participação de catadores de recicláveis entre outras defesas (PNRS, 2010).

Analisando com mais objetividade e direcionando a esta dissertação, tem-se a legislação internacional WEEE (*Waste Electrical and Electronic Equipment*), originada por países pertencentes à União Europeia em 2003, a mesma com o passar dos anos vem sendo complementada de forma a abranger mais escopos de produtos eletrônicos e formas de reutilização e reciclagem. A diretriz em questão, foi criada como solução para fabricantes de produtos eletrônicos, sejam responsabilizados e arquem com custos de coleta seletiva, reciclagem e reutilização de matérias primas de produtos relacionados aos mesmos (SILVA, 2011).

O objetivo é estimular os fabricantes a refletirem e a internalizarem os custos ambientais em seus produtos, de modo a estabelecer uma correspondência entre o preço do item e os encargos relacionados à sustentabilidade. Com base na WEEE, estabelecida para combater o aumento significativo do *e-waste* (resíduos eletrônicos), um desafio em constante crescimento, especialmente em paralelo com o progresso contínuo do mercado tecnológico, o

propósito é ampliar as regulamentações e orientações para abranger diferentes categorias de produtos. A responsabilidade pelo *e-waste*, vem pela preocupação com os metais pesados de transição e terras raras utilizados nos produtos, que muitas vezes causam impactos ao meio ambiente e a saúde humana por serem cancerígenas (SILVA, 2011).

Em complemento a WEEE, a União Europeia criou a RoHS (*Restriction of Hazardous Substances*) de forma a cercar e se preocupar com o meio ambiente relacionando a proibição de determinadas substâncias que são classificadas como perigosas para serem utilizadas em produção de produtos eletrônicos. São eles: cádmio, chumbo, mercúrio, cromo-hexavalente e os éteres difenilpolibromados e polibromobifenilo. Porém esses materiais ainda são comumente utilizados (RUIZ E CORTES, 2016).

A abordagem adotada para resolver essa situação foi transferir a responsabilidade por esses impactos aos fabricantes, seguindo o modelo da WEEE. Consequentemente, essa diretriz resultou na elevação dos custos e no aprimoramento do desenvolvimento de produtos, levando também à exploração de opções alternativas para superar as restrições de quantidades dos materiais mencionados em seus processos produtivos (RUIZ E CORTES, 2016).

Um exemplo notório é o incidente conhecido como "crise do cádmio" envolvendo a empresa Sony Corporation. Nesse caso específico, a empresa estava utilizando essa substância em quantidades que excediam os limites estabelecidos pela legislação em seus consoles de videogame. Isso resultou em uma punição financeira significativa, na forma de uma multa no valor de 17 milhões de euros. Esse exemplo enfatiza de maneira clara como a não conformidade com as regulamentações pode ter consequências sérias e custosas para as empresas. Abaixo, na Figura 1 segue as quantidades permitidas para tais substâncias perigosas em produtos eletrônicos (RUIZ E CORTES, 2016).

Substâncias	Máximo (ppm)	Uso comum	Impactos ambientais	Riscos para a saúde humana
PBB/PBDE Bromobifenilas	1000	Retardante de chama em polímeros, revestimentos e PCB	Biocumulativo, resistente à decomposição	Cancerígeno e neurotóxico
Cádmio (Cd)	100	Revestimentos, soldas, semicondutores, contatos, PVC, pigmentos	Biocumulativo, tóxico e resistente à decomposição	Cancerígeno, causa desmineralização óssea
Chumbo (Pb)	1000	Soldas, tintas, pigmentos, revestimentos, plásticos, PVC, aço galvanizado	Efeito cumulativo e toxicológico em plantas, animais e micro-organismos	Afeta os sistemas nervoso e cardiovascular
Cromo (Cr hexavalente)	1000	Revestimentos anticorrosivos, plásticos metalizados	Facilmente absorvido por organismos, altamente tóxico	Genotóxico e alergênico
Mercúrio (Hg)	1000	Lâmpadas fluorescentes, sensores, <i>relays</i>	Biocumulativo	Causa problemas neurológicos e danos cerebrais

Figura 1 – Classificação e quantidades de substâncias proibidas pela RoHS.

Fonte: (adaptado The European Parliament and The Council of The European Union, 2010)

1.6 MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVA

Primeiramente, o ponto crítico relevante que deve ser levado em questão como grande justificativa para o desenvolvimento desta dissertação é a conscientização da sociedade perante o descarte incorreto do lixo eletrônico no meio ambiente. Como um simples objeto, que está presente nos mais variados locais como residências, empresas, comércio, indústria, pode acarretar em sérios impactos ambientais que se não forem corrigidos, acabam-se por acumular com outros produtos gerando cenários de catástrofe ambiental.

Em relação as pesquisas em telecomunicações, pode-se citar a geração de um estudo de qualidade que forneça uma análise crítica para a sociedade a respeito de materiais menos agressivos ao meio ambiente aplicado a produtos das telecomunicações, tendo em vista que a tecnologia está presente no cotidiano de todos. Dessa forma, esse estudo busca conscientizar o uso de materiais menos danosos ao meio ambiente na fabricação de produtos eletrônicos. Ademais, é de suma importância mencionar também, que a substituição de bio-materiais em polímeros e metais comumente utilizados (PIRES, 2014), visa também uma complementação nesse processo de conscientização em componentes eletrônicos.

Dentro do mercado de tecnologia Wi-Fi, o desempenho das antenas tem um papel crucial nas operações de telecomunicações. Isso ocorre porque esses dispositivos são responsáveis por transmitir e receber uma ampla variedade de informações. Além disso, é importante ressaltar a relevância geral desse produto no contexto da tecnologia Wi-Fi. Estudos destinados a essa área indicam que, até o ano de 2016, foram investidos cerca de 5 bilhões de dólares somente em componentes de antenas. Projeções apontam para um crescimento notável desse valor, chegando a 15 bilhões de dólares até o final de 2022. Isso evidencia um aumento substancial no mercado e na importância das antenas para a indústria de tecnologia Wi-Fi (MARKETSANDMARKETS, 2020).

A indústria de fabricação de dispositivos eletroeletrônicos está experimentando um crescimento significativo devido à demanda por avanços tecnológicos por parte da sociedade. Contudo, cada avanço tecnológico traz consigo aspectos positivos e negativos para a sociedade. Um grave problema a geração de resíduos sólidos resultantes da produção e descarte desses dispositivos, bem como a poluição gerada durante os processos de fabricação. Outro aspecto negativo é o acúmulo de lixo eletrônico descartado inadequadamente (PNRS, 2010).

Muitos produtos de telecomunicações e eletrônicos foram impulsionados pela tecnologia Wi-Fi, que por sua vez, demandou um aumento significativo de antenas, em especial as antenas helicoidais, que é um produto presente em todos os tipos de roteadores em

localidades que necessitam de uma comunicação sem fio. A revolução nesse tipo de produto começa por uma análise minuciosa em sua estrutura, seguida por um levantamento estatístico em base de dados que por fim acabou identificando os polímeros a base de hidrocarbonetos como principal problema na produção. Por outro lado, alguns metais utilizados na fabricação da antena podem ser modificados também, devido a sua produção causar possíveis impactos ambientais (ALBERTO, 2020).

Outro avanço evidenciado por esta dissertação reside na identificação da escassez de pesquisas de cunho ambiental que explorem técnicas de análise de ciclo de vida (ACV) aplicadas a produtos eletroeletrônicos. Embora esta pesquisa apresente alguns estudos posteriores que aplicam ACV e Ecodesign a esses produtos, tais exemplos permanecem limitados diante da ampla gama de trabalhos disponíveis na literatura sobre esse tópico específico. Assim, o presente estudo busca estabelecer um incentivo para que outros pesquisadores se dediquem à realização de pesquisas similares, ampliando assim a contribuição para os campos da ACV, Ecodesign e telecomunicações.

Em relação ao setor de Planejamento e Desenvolvimento de Produto, a contribuição dessa dissertação se dá pelo fato de um estudo aplicado que além de caracterizar e definir os impactos produzidos por um determinado produto, fornece também soluções a fim de os corrigir. Uma vez que o Ecodesign é uma dessas soluções e está incorporado a esse setor de desenvolvimento, o estudo possui como função orientar o correto uso das técnicas e princípios do tema em questão, além de demonstrar aplicações na prática para produtos nas telecomunicações e outros setores.

Ao setor sustentável, a contribuição vem pelo fato de induzir as empresas a investirem mais em sustentabilidade empresarial e industrial, uma vez que, um produto gerado e que possua uma “imagem verde” perante a concorrência, além de se destacar e despontar no mercado garante também um excelente retorno ao meio ambiente. Em complemento, uma vez que o produto forneça o desempenho técnico mínimo que é esperado ao mercado e possua um desempenho ambiental regular ou superior, o mesmo sempre será lembrado pelo consumidor no momento de fazer sua escolha.

Ainda considerando o setor sustentável, verifica-se o aumento dos impactos ambientais negativos ao longo do ciclo de vida do produto analisado nessa pesquisa. Entendendo a motivação dessa dissertação, a técnica mais utilizada para essa finalidade é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) (NBR ISO 14040, 2009). A ACV permite a identificação e a quantificação dos impactos ambientais do produto, e então, subsidia o processo de tomada de decisão para a implementação de melhorias do desempenho ambiental do produto. Essas melhorias podem

ocorrer em diversas fases do ciclo de vida do produto. Para a etapa de projeto, posteriormente à realização da ACV pode-se implementar o Ecodesign (NBR ISO 14040, 2009).

Ecodesign, em sua essência, é a concepção de um design inovador para um produto com o propósito de oferecer benefícios ambientais tanto em sua fase de utilização quanto em seu eventual descarte. Quando um produto incorpora princípios de Ecodesign, ele desempenha um papel favorável para o meio ambiente ao longo de sua vida útil e, posteriormente, na etapa de sua disposição final. Essa disposição pode envolver práticas como reciclagem, reutilização ou descarte adequado em ambientes naturais, sem causar impactos adversos nos ecossistemas. (PIGOSSO, 2018).

A aplicação do Ecodesign pode ser abordada de diversas formas baseado nos princípios estabelecidos para a técnica. Desde produtos que não necessitem de troca de peças, passando por materiais mais resistentes ou até degradáveis ao simples ato de material reciclável. Os benefícios da ferramenta são os mais variados, desde contribuição ao meio ambiente até uma imagem positiva do produto perante a concorrência no mercado (PIGOSSO, 2018). Mais detalhes sobre o Ecodesign, aplicação e princípios estão abordados na sessão de Revisão Bibliográfica.

Assim, percebe-se a importância de avaliar os impactos ambientais da antena helicoidal para tecnologia Wi-Fi de forma a subsidiar e otimizar a implementação do Ecodesign nesse produto. Dessa forma, o objetivo da pesquisa foi avaliar o desempenho ambiental da antena helicoidal para tecnologia Wi-Fi e projetar cenários de Ecodesign visando a melhoria do desempenho ambiental desse produto.

Ao optar pelo uso de bio-materiais como substitutos para os materiais tradicionalmente empregados, o objetivo é mostrar que essas alternativas podem oferecer um desempenho estrutural equivalente à função necessária, sem comprometer o desempenho técnico geral do produto. Em outras palavras, os bio-materiais teriam a capacidade de melhorar o desempenho ambiental sem prejudicar o funcionamento eficaz do produto. (PIRES, 2014). Assim, no momento do descarte dos componentes a base de bio-materiais, não acarretaria danos ao meio ambiente.

Além disso como relevância em termos teóricos, a abrangência de maiores conhecimentos a serem divulgados nessa tese, serão de suma importância para a conscientização da sociedade sobre a importância do Ecodesign na atualidade, no qual uma maior diversidade de produtos que serão produzidos para contribuir com a revolução nas produções (PRENDEVILLE, 2021).

Em virtude das contribuições, pode-se citar para o campo teórico no âmbito científico uma tese que visa complementar pesquisas relacionando ACV em produtos eletrônicos e das telecomunicações, uma vez que essa técnica é de grande importância para a identificação de possíveis impactos ambientais na produção de produtos. Dessa forma, esse tipo de pesquisa aplicada a produtos dessa área, complementaria uma área escassa em informações de qualidade a respeito de produção, materiais, meio ambiente e sustentabilidade.

Para o campo prático, a utilização de bio-materiais na produção de antenas Wi-Fi, poderia gerar uma maior tendência em empresas e indústrias em expandir suas produções visando o âmbito ambiental. No caso da área de antenas, o projeto poderia ser expandido para uma vasta variedade de tipos de antenas, dependendo das condições de uso e ambiente conforme são utilizadas. Essa tese também pode ser aplicada a outros produtos eletrônicos como filtros, amplificadores, ressonadores, roteadores entre outros, expandindo ainda mais a quantidade de empresas e indústrias fabricantes, que utilizam polímeros a base de hidrocarbonetos em seus produtos.

Por fim, a maior contribuição ficaria pelo processo de desenfreamento da produção de lixo eletrônico, tendo em vista que uma maior utilização de bio-materiais em processos produtivos acarretaria a médio e longo prazo em componentes biodegradáveis descartados no meio ambiente, que de certa forma não aumentaria o processo de lixo eletrônico, mas sim estabilizaria até apresentar uma diminuição do lixo acumulado.

1.7 OBJETIVOS

Primordialmente, o objetivo principal dessa dissertação é avaliar os impactos ambientais causados por uma Antena Wi-Fi durante seu ciclo de vida, através da qualificação e quantificação de seus componentes, materiais e gastos energéticos. Após isso elaborar cenários de melhoria para o produto com base em princípios e aplicações do Ecodesign para produtos. Ao final, será realizada uma seleção do cenário mais vantajoso do ponto de vista ambiental em comparação com o cenário de referência.

Para tais metas serem atingidas, objetivos específicos foram listados abaixo, com o intuito de alcançar a conclusão do objetivo principal.

- Análise estrutural e classificação dos componentes perante massa, energia e material em ambiente laboratorial;
- Classificação dos materiais e processos necessários para a produção do produto;
- Criação do Inventário do Ciclo de Vida (ICV) do produto;

- Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV) do produto;
- Análise dos resultados do cenário base;
- Geração de cenários de melhorias (alternativos) para o produto;
- Conclusões a respeito dos cenários.

Em suma, após a finalização das metas estabelecidas, a conclusão do objetivo principal será possível. A eficácia da ACV poderá ser comprovada bem como a relevância das técnicas de Ecodesign nos cenários abordados.

1.8 ESTRUTURA DO TRABALHO

A dissertação foi organizada de forma a seguir uma padronização que demonstrasse organização para com o leitor além de estabelecer grande transparência em relação a produção do produto, a aplicação da ACV e suas etapas e a utilização dos princípios do Ecodesign. Para total esclarecimento, os capítulos foram alinhados no seguinte formato:

- Capítulo 1 – Introdução, caracterização e contextualização da tecnologia, problematização, justificativas e objetivos;
- Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica Sistemática;
- Capítulo 3 – Materiais e metodologia utilizada aplicadas a produção da Antena Wi-Fi;
- Capítulo 4 – Resultados cenários base, alternativos e discussões;
- Capítulo 5 – Conclusões a respeito da ACV, Ecodesign e processo com um todo;
- Capítulo 6 – Referências bibliográficas.

Por fim, apêndices e anexos podem ser encontrados como dados complementares ao fim da dissertação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA

Primeiramente, pode-se esclarecer que as Antenas Wi-Fi são imprescindíveis para a atualidade, devido à grande quantidade de informação circulante em nossas redes. Pensando na camada física, é de se analisar que cada roteador ou equipamento equivalente necessite de uma ou mais antenas para funcionamento do equipamento. Em virtude do lado quantitativo, a numerosidade de Antenas Wi-Fi sendo utilizadas em residências, comércios, empresas e outras localidades é algo difícil de mensurar.

Vale destacar, que na grande maioria desses equipamentos, metais e polímeros, são utilizados em suas estruturas e uma vez que o equipamento chega ao fim do seu ciclo de vida, acaba-se por ser descartado muitas vezes de forma errônea, prejudicando o meio ambiente.

Pode-se pensar, que uma substituição desses materiais por materiais menos danosos ou até bio-materiais é bem vista hoje? A resposta é sim, pois num mercado que valoriza cada vez mais o cenário verde na indústria, a inovação e a sustentabilidade somam-se de forma benéfica as empresas que aderem a este caminho. Dessa forma, essa revisão busca um melhor entendimento em cima do Ecodesign em produtos, nesse caso em Antenas Wi-Fi.

Assim, esse tópico possui como objetivo uma análise aprofundada através da bibliografia, a fim de apresentar um maior conhecimento a respeito do termo acima utilizando de teorias, ferramentas, técnicas, artigos e resultados em periódicos de alta importância na comunidade científica, sobre o tema de interesse aplicado a Antenas Wi-Fi. Com essa base sendo utilizada, o desenvolvimento de uma revisão bibliográfica de forma sistemática possui grande importância, a fim de estabelecer total preenchimento de todas as lacunas para a conclusão do projeto final.

2.1 ECODESIGN: DEFINIÇÃO E PRINCÍPIOS BÁSICOS

Nesse primeiro momento, algo que é de grande importância para o desenvolvimento da pesquisa como um todo, seria uma abordagem mais criteriosa sobre o termo Ecodesign, princípios e aplicações na literatura. Segundo McAloone e Pigosso (2018), referem-se ao termo Ecodesign em projetos como o desenvolvimento de produtos aplicando considerações ambientais desde os estágios iniciais, passando pelo processamento até o produto final com o intuito de melhoramento do potencial ambiental daquele produto.

Para Torben e Aklesh (2021), os processos de produção e atividades complementares durante os projetos de produtos, estão defasados perante o industrialismo e devem ser

renovados. Uma vez que possui uma vasta variedade de bio-materiais capazes de exercer as mesmas funções de materiais comuns, um design apoiado na visão biológica é capaz de gerar benefícios ao meio ambiente e deve ser posto em prática a fim de contribuir com a renovação descrita acima.

Sendo assim, Watkins M.(2021), considera que os atuais padrões de produção além de serem amplamente consumistas e insustentáveis, veem causando danos irreparáveis ao meio ambiente. Dessa forma, o Ecodesign vem desempenhando um papel vital para resolução desse tipo de problema, uma vez além do desenvolvimento de um novo produto ele desempenha a conscientização, além da geração de conhecimento, habilidades, ferramentas e responsabilidades para as futuras gerações de ecodesigners.

Uma vez mais esclarecida a definição do termo, pode-se abordar os princípios definidos como a base para o Ecodesign, a começar é claro pela escolha de materiais com baixo impacto ambiental. Assim, uma vez escolhido o material correto e que possua um baixo impacto ambiental, pode-se definir esse material como menos poluente, necessite de menos energia para fabricação além de possuir uma produção sustentável e ao fim de sua vida de preferência ser reciclável. Esse é um primeiro passo para contribuição de um design ecológico para um novo produto (MACCIONI, 2019).

Um segundo princípio de grande importância é a questão da eficiência energética. O material que durante seu processo de fabricação utilize de um baixo consumo de energia ou até possua em alguma etapa de sua produção, a utilização de uma fonte de energia menos danosa ao meio ambiente, acaba ocasionando uma colaboração ao meio ambiente. Exemplos de energias renováveis que veem ganhando destaque no cenário nacional, podem-se citar a eólica e a fotovoltaica (MACCIONI, 2019).

O terceiro princípio refere-se a questão da qualidade e durabilidade dos materiais. Uma vez que os mesmos são fabricados, produtos que possuam um maior tempo de vida contribuem de forma positiva na questão de geração de lixo no momento do descarte. Dessa forma, quanto mais durável o material ou produto, maior qualidade evitando assim uma produção massiva de novos itens e contribuindo para o meio ambiente (MACCIONI, 2019).

O quarto princípio define-se como modularidade, ou seja, desenvolvimento de produtos no qual possuam uma maior facilidade no quesito substituição de peças em caso de defeito. Um produto que obtenha essa disposição, acaba por evitar que seja substituído por um novo produto, uma vez que se encontre danificado. Sendo assim, uma vez trocadas as peças com avarias, o produto se encontra novamente pronto para o uso, não ocorrendo comutação e diminuindo o descarte de lixo (MACCIONI, 2019).

Por fim, mas não menos importante, pelo contrário, o ultimo princípio é de extrema notoriedade, uma vez que quando se fala em Ecodesign pode-se associar automaticamente as palavras reutilização e reciclagem. Este princípio define-se como a habilidade de criar, construir ou apenas reutilizar materiais ou objetos que foram descartados, com intuito de reaproveitamento e evitar descartes (MACCIONI, 2019).

2.2 ECODESIGN: MÉTODOS E FERRAMENTAS

Este tópico possui como intuito a apresentação de métodos e ferramentas muito utilizadas para o processo de desenvolvimento de novos produtos com abordagem do Ecodesign. O objetivo desses instrumentos, é gerar um produto capaz de minimizar ou até causar o menor impacto ambiental possível, começando na fase inicial, a exemplo, a extração de matéria prima, prosseguindo com o processamento e fabricação, chegando ao seu ciclo final de descarte ou até reutilização ou reciclagem.

A primeira em questão, trata-se uma ferramenta muito utilizada na área da Engenharia Ambiental com intuito de realizar um mapeamento do ciclo de vida de um produto. Como o próprio nome já se refere, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), busca como objetivo uma análise complexa ao longo do ciclo de vida do produto estudado, iniciando pela fase de extração de matéria prima, processamento e fabricação, uso do produto final até descarte, reutilização ou reciclagem (HANDBOOK ON LIFE CYCLE ASSESSMENT, 2002).

Durante todas essas etapas, essa avaliação busca identificar possíveis impactos ambientais gerados pela produção do produto analisado. A ferramenta também é muito utilizada em questões de análises comparativas entre dois produtos de mesmas funções. A avaliação em si, consiste na alimentação do Inventário de Ciclo de Vida (ICV) com fluxos de entrada e saídas como processos, materiais e suas massas, gastos energéticos, liberação de resíduos entre outros. Esses dados geralmente são compilados em softwares especializados nessas análises ambientais, a exemplo, pode-se citar o GaBi software (GARCIA, 2006).

Uma segunda ferramenta também bastante utilizada é a Matriz Eco-Funcional. Essa prática em questão consiste em dividir o produto em dois perfis: ambiental e funcional do produto, com intuito de analisar e criar uma versão do produto nova com o menor preço potencial ambiental em questão. A análise do perfil funcional é descrita como a avaliação das propriedades, áreas e atividades que possuem foco no quesito funcionalidade do produto além é claro de sua viabilidade comercial perante a indústria (GARCIA, 2006). Por outro lado, o perfil ambiental deve incluir em seus quesitos as seguintes categorias a serem analisadas:

- Tempo de vida útil;
- Tempo de uso;
- Segurança;
- Interação homem/máquina;
- Economia;
- Flexibilidade técnica;
- Demanda ambiental;
- Confiabilidade.

Utilizando essas categorias, o perfil ambiental possui como objetivo identificar uma correlação entre as propriedades do produto analisado e a geração de possíveis impactos ambientais. Com essa correlação mencionada, alguns aspectos devem ser avaliados pelo perfil ambiental:

- Número de unidades produzidas anualmente;
- Massa e volume do produto;
- Utilização de matérias de nível superior em raridade;
- Utilização de materiais tóxicos;
- Utilização e tipos de fontes de energias.

A ferramenta descrita acima pode ser aplicada em diferentes estágios de produção do produto analisado (GARCIA, 2006).

A Casa da Qualidade para o Ambiente ou QFDE, é uma ferramenta criada com intuito de incorporar os aspectos ambientais a matriz QFD tradicional, que consiste em analisar requisitos de qualidade já com a aplicação de requisitos ambientais. Assim, o QFDE possui 4 fases descritas abaixo:

- Nas fases I e II, ocorre a identificação das propriedades funcionais e técnicas do produto que necessitam de um foco maior no design em relação as qualidades tradicionais e ambientais;
- Nas fases III e IV, após a identificação das propriedades funcionais das fases I e II, algumas melhorias no design do produto devem ser analisadas nessas fases baseadas na combinação de informações de duas partes: métricas de engenharia, melhorias nos componentes do produto e efeitos visuais a respeito da mudança do design em cima da opinião do consumidor.

Dessa forma, os projetistas do produto buscam a melhor versão da estrutura que realize as propriedades funcionais e técnicas requisitadas além de acarretar na diminuição do impacto ambiental, baseado na alteração do design, ou seja, um Ecodesign aplicado (MASUI, 2002).

Em relação a matrizes de informações aplicadas a um produto, pode-se citar a Matriz MET, outra ferramenta que busca melhorias no desempenho ambiental do produto. A análise em si dos impactos ambientais é dividida em três categorias:

- M – Materiais;
- E – Energia;
- T – Toxicidade ou emissões tóxicas.

Na sequência há uma discussão abordando algumas informações sobre propriedades técnicas e ambientais como: funcionalidade do produto, limites de sistema e escolha de unidade funcional, caracterização de materiais, energia consumida e emissão de substâncias tóxicas durante as fases do ciclo de vida e por avaliação e análise. Os dados obtidos pela matriz podem ser qualitativos ou quantitativos e implementados em possíveis melhorias no produto (JUI CHE TU, 2006).

Outra matriz que pode ser utilizada é a MECO, que possui uma disposição de categorias um pouco distinta da matriz MET, porém com os mesmos objetivos a serem analisados: impactos ambientais presentes durante as fases do ciclo de vida do produto. Essas análises podem ser obtidas através de estimativas nas seguintes categorias:

- M – Materiais;
- E – Energia;
- C – Químicos (do inglês, *Chemicals*);
- O – Outros materiais utilizados no processamento.

Desmembrando um pouco de cada categoria, pode-se exemplificar as mesmas através do que está incluso. Na categoria Materiais (M), ocorre a inclusão da vasta variedade de materiais utilizados nas fases de produção, uso e manutenção caso necessário. Em relação a categoria Energia (E), inclui toda energia utilizada além dos tipos de como foi gerada (hidrelétrica, eólica, fotovoltaica ...) presentes no ciclo de vida do produto analisado, independente da fase de produção (HOCHSCHORNER E FINNVEDEN, 2003).

A categoria Químicos (C), apresenta todos os tipos de substâncias utilizadas independente de seu estado físico da matéria como solventes, lubrificantes, combustíveis, tintas entre outros. Por fim, na categoria Outros (O), onde se localizam impactos ambientais produzidos por materiais, substâncias ou componentes que não se encaixam em nenhuma das

categorias citadas acima. Dessa forma, todos componentes, processos, fluxos devem ser contabilizados em alguma das categorias apresentadas (HOCHSCHORNER E FINNVEDEN, 2003).

O *Lids Wheel*, também chamado de Estratégias de Design para o Ciclo de Vida, busca como objetivo produzir melhorias ambientais a um produto através do design (Ecodesign). A ferramenta consiste em 8 estratégias ambientais categorizadas e utilizadas como formas de identificação de possíveis melhorias (VAN HEMEL, 1997). As estratégias são definidas como:

- Apuração de materiais de baixo impacto ambiental (materiais renováveis, recicláveis, de baixo teor de energia utilizada e mais leves perante a impactos ambientais);
- Redução dos materiais utilizados (diminuição do peso e no volume de transporte);
- Otimização das técnicas e processos presentes na produção (técnicas alternativas de processamento, diminuição de etapas da produção, menor consumo de energia ou energia mais limpa);
- Otimização dos sistemas de distribuição (diminuição na quantidade de embalagens ou mais limpas, logística eficiente);
- Redução dos impactos ambientais durante a fase de uso (menor consumo de energia, fontes de energia mais limpas, menos consumo ou consumo mais limpo, sem desperdícios);
- Maior vida útil para o produto (maior confiabilidade e durabilidade, manutenção e reparos com maiores facilidades, estrutura do produto composta por módulos, design pensado no consumidor);
- Otimização para o sistema de gestão do fim de vida (reutilização do produto como um todo ou dos componentes, reciclagem de materiais);
- Otimização do desenvolvimento do produto como um todo (novas ideias para a produção como desmaterialização, produtos de uso compartilhado, funções integradas, otimização funcional, cumprimento da eficiência).

As estratégias são analisadas qualitativamente através de pontuações positivas e negativas e cada qual é independente das outras, ou seja, não há priorização de determinada categoria em específico (VAN HEMEL, 1997).

Retomando as matrizes como método de avaliação, temos o ERPA definido como uma ferramenta, ou também como é descrito, Matriz de Avaliação da responsabilidade Ambiental do Produto. Essa ferramenta, assim como as outras destacadas até o momento possui como objetivo analisar possíveis melhorias a respeito de um produto com base em seu desempenho ambiental do momento e focando no desempenho melhorado na nova versão. Todas as fases da produção serão analisadas baseadas em 5 categorias definidas abaixo:

- Definição dos materiais;
- Fontes e quantidade de energia utilizada;
- Emissão de resíduos sólidos;
- Emissão de efluentes líquidos;
- Emissões gasosas;

Independente da fase de produção analisada, os impactos ambientais pertencentes as mesmas são classificadas quantitativamente numa escala de 0 (impacto máximo) a 4 (impacto mínimo). Na próxima etapa ocorre o desenvolvimento de checklists, baseada nas pontuações obtidas e relacionando com características do produto. Por fim, é somada as pontuações de todas as linhas e colunas da matriz e designando uma responsabilidade ambiental para o produto. Em caso de ocorrência de um valor mais significativo para uma determinada fase da produção, poderá ser atribuído ao mesmo um valor ponderado (peso). Em relação a pontuação final do produto, quanto mais significativo o valor (maior), melhor será seu desempenho ambiental (GRAEDEL E ALLENBY, 2003).

O último modelo no formato de matriz tem-se o DfE Matrix, ou Matriz de Design para o Ambiente. A ferramenta permite uma análise semi-quantitativa a respeito possíveis alternativas referentes ao design do produto, baseando-se em impactos ambientais que podem não ter sido levados em conta durante a produção. Assim como o ERPA, o resultado é uma pontuação relacionada ao produto que tende a ser utilizada como método de comparação com um produto já existente ou outro que está em fase de desenvolvimento. Cada etapa do ciclo de vida é analisada e quantificada, além de indicar pontos de melhoria. A pontuação final da matriz, linhas e colunas, deve estar relacionada com as atribuições técnicas do produto e em complementação com: parâmetros econômicos de mercado, valores para o cliente e questões de manufatura (PLATCHECK, 2008).

Assim, retirando-se neste momento de ferramentas com abordagens e matrizes, pode-se finalizar essa seção com três ferramentas bem analíticas. A primeira em questão trata-se das Dez Regras de Ouro, que nada mais são que um conjunto de especificações a serem seguidas

encontradas em manuais utilizados por muitas empresas independente do setor estabelecido, contendo estratégias, recomendações, características a serem seguidas a fim de fornecer um melhoramento ambiental acerca de novos produtos. Assim como as outras ferramentas mencionadas anteriormente, essa em questão também pode ser utilizada como forma de análise comparativa. As regras citadas nesses manuais devem ser implementadas de acordo com as características de cada empresa e dos produtos gerados pela mesma (LUTTROP E LAGERSTEDT, 2006). Para este determinado caso, há a existências das 10 regras de ouro para o Ecodesign, sendo elas as seguintes:

1. Não utilizar substancias tóxicas;
2. Redução de consumo de energia ou recursos da produção através de organização, eliminação de desperdícios (*housekeeping*);
3. Utilizar materiais de alta qualidade que não interfiram em propriedades técnicas do produto;
4. Redução de consumo de energia e recursos da produção durante a fase de uso;
5. Fornecer manutenções, reparos e atualizações para maior durabilidade do produto;
6. Promoção da vida útil do produto sempre;
7. Utilização de materiais que possuam uma proteção ou revestimento contra desgastes do tempo, sujeiras, corrosão;
8. O projeto do produto deve ser pensado conforme possíveis atualizações, reparos, reutilizações e reciclagens;
9. Promoção de atualizações, reparos, manutenções em produtos que não possuam matérias com ligas;
10. Utilizar a menor quantidade materiais possíveis além de conexões que desfrutem de parafusos, soldagens, encaixes, adesivos.

Como visto acima, a aplicação das 10 regras de ouro varia conforme a necessidade do projeto, empresa ou ambiente (LUTTROP E LAGERSTEDT, 2006).

A Análise ABC, consiste em avaliar impactos ambientais de produtos baseados precisamente em onze critérios e avaliados quantitativamente em relação as seguintes categorias:

- A – Problemática;
- B – Média;
- C – Sem perigo;

As categorias A e B, quando assinaladas quantitativamente representam que ações devem ser tomadas a respeito de melhorias. Assim como outras ferramentas apresentadas, também fornece uma análise descritiva das fases do ciclo de vida do produto (MAIA, 2017).

Por fim, tem-se a Análise do Efeito Ambiental (EEA) que pode ser descrita da seguinte forma: todas as fases do ciclo de vida do produto analisado, passam a ter seus impactos ambientais identificados e avaliados quantitativamente. Com os resultados obtidos, são classificadas as fases mais significativas, através de estudos são propostas ideias a fim de minimizar esses impactos causados. Se aprovadas, passam a ser realizadas pelos responsáveis da empresa. Essa ferramenta geralmente é utilizada em conjunto com análise FMEA (Failure Mode Effect Analysis). Além disso, a grande maioria das ferramentas apresentadas nesse tópico acabam se complementando e trabalhando de forma conjunta por uma análise mais complexa, objetiva e geradora de um sistema de gestão de produtos mais responsável, a fim de criar um design inovador e que beneficie o meio ambiente, em relação ao produto analisado (IBAMA, 2016).

2.3 APLICAÇÃO DE ECODESIGN EM ANTENAS E COMPONENTES ELETRONICOS NA LITERATURA

2.3.1 ESTUDO DE CASO 1: APLICAÇÃO DE ECODESIGN EM SMARTPHONES, TABLETS, NOTEBOOKS E COMPUTADORES

Neste tópico, serão abordados estudos que incluem utilização direta de Ecodesign tanto em definição como em uso de suas ferramentas e metodologias aplicadas em produtos e componentes eletrônicos. Em casos mais específicos, tendo em vista que o foco do projeto é a aplicabilidade do Ecodesign em Antenas Wi-Fi, serão também abordados estudos que contribuam para o tema analisado em questão. Desse modo, essa seção busca contribuir ainda mais com o conhecimento a ser utilizado no decorrer do projeto, sabendo que algumas ferramentas aqui apresentadas foram utilizadas em artigos e periódicos na área de tecnologia.

O autor KJ Manjunatheshwara (2021), publicou na Revista Internacional de Engenharia Sustentável um artigo completo de abordagem, baseada em vários autores e pesquisadores que utilizaram de ferramentas de Ecodesign aplicadas a produtos eletrônicos. Denominado “Projeto e fabricação de produtos eletrônicos sustentáveis: revisão e estado da arte”, dentre os produtos estudados pode-se citar celulares, monitores de LCD e CRT, computadores, laptops e notebooks, telefones fixos, interruptores eletrônicos e bens de consumo. Dentre as ferramentas

abordadas nos estudos, tem-se presente a utilização de ACVs, matrizes QFD, EcoSmart, LCIA dentre outros tipos de análises menos discutidas na imagem da Figura 2.

Ferramenta	Descrição	Produtos	Estudo
Otimização linear e simulação de eventos discretos	Um plano de remanufatura padrão para telefones celulares	Celulares	Seliger et al. (Citação 2004)
LCIA	Avaliação de impactos ambientais	Monitores de computador – CRT e LCD	Socolof, Overly e Geibig (Citação 2005)
Modelo de otimização linear e simulação de eventos discretos	Remanufatura	Celulares	Franke et al. (Citação 2006)
Quadro analítico	Avaliação dos benefícios do DFR	Gabinets de computador	Masanet e Horvath (Citação 2007)
LCA	gerenciamento de lixo eletrônico	Computadores	Ahluwalia e Nema (Citação 2007)
Lógica difusa	Seleção da combinação ideal de elementos de formulário de telefone celular para combinar com uma determinada imagem de produto	Celulares	Lin, Lai e Yeh (Citação 2007)
LCA	Avaliação quantitativa de eco-impactos de eletrônicos	Celulares	Wu e outros. (Citação 2008)
Análise	Revisão do fluxo global de materiais, geração de resíduos e práticas de gestão na Nigéria	Telefones celulares e fixos	Osibanjo e Nnorom (Citação 2008)
Eco QFD	Processo de Eco-Design de um telefone móvel	Celulares	Bereketli, Genevois e Ziya Ulukan (Citação 2009)
Enquete	programa de reciclagem	Celulares	Nnorom, Ohakwe e Osibanjo (Citação 2009)
LCA	Avaliação do desempenho ambiental	Computador de mesa	Duan et al. (Citação 2009)
LCA	gestão EOL	Monitor de computador	Meio-dia, Lee e Cooper (Citação 2011)
LCA	Avaliação de impacto energético e ambiental	Notebook	Deng, Babbitt e Williams (Citação 2011)
Enquete	Reciclado	Celulares	Yin, Gao e Xu (Citação 2014)
Modelo simplificado de função logística	gerenciamento de lixo eletrônico	Computadores e telefones celulares	Rahmani et al. (Citação 2014)
Fornecimento de mercado Um método, abordagem de consumo e uso e vendas e novo método	Sistema de gestão sustentável	Celulares	Li, Yang, Lu, Canção (Citação 2015)
Enquete	Reciclagem e reutilização	Celulares	Yla-Mella, Keiski e Pongrácz (Citação 2015)
QFD difuso	Design de produto	Celulares	Wu e Ho (Citação 2015)
EcoSmarT	Design de produto e inovação	Celulares	Andrae et al. (Citação 2016)
QFD difuso	Priorização de iniciativas para o desenvolvimento da sustentabilidade	Eletrônicos de consumo	Vinodh et al. (Citação 2017)
Abordagem baseada no ciclo de vida	Problemas de design de configuração de produto multiobjetivo em vista de objetivos financeiros e ecológicos inconsistentes	Cartuchos de toner	Badurdeen, Aydin e Brown (Citação 2018)
QFD difuso	Priorizar propostas de melhoria de fabricação sustentável	Interruptores eletrônicos	Vimal, Vinodh e Jayakrishna (Citação 2019)

Figura 2 - Ferramentas ambientais utilizadas em artigos de Ecodesign com aplicação a produtos eletrônicos.

Fonte: (Adaptado de Jornal Internacional de Engenharia Sustentável, 2021).

Dentre os estudos abordados por KJ Manjunatheshwara (2021), possuem como objetivos avaliação de impactos ambientais, gerenciamento de lixo eletrônico, elaboração de Ecodesign, reciclagens e reutilizações, avaliação de impacto energético entre outras formas de possíveis melhorias nas produções dos produtos analisados. Em relação as fases analisadas, pode-se citar independentemente uma da outra na imagem da Figura 3, projeto e fabricação, uso, extração até a produção (Cradle-to-Gate) e fim de vida (EoL – End of Life).

Ferramenta	Fase(s) do ciclo de vida	Estudo
Otimização linear e simulação de eventos discretos	EoL	Seliger et al. (Citação 2004)
LCIA	Cradle to Gate, Uso, EoL	Socolof, Overly e Geibig (Citação 2005)
Modelo de otimização linear e simulação de eventos discretos	EoL	Franke et al. (Citação 2006)
Quadro analítico	EoL	Masanet e Horvath (Citação 2007)
LCA	EoL	Ahluwalia e Nema (Citação 2007)
Lógica difusa	Projeto e fabricação	Lin, Lai e Yeh (Citação 2007)
LCA	EoL	Wu e outros. (Citação 2008)
Revisão do fluxo de materiais, geração de resíduos e práticas de gestão	EoL	Osibanjo e Nnorom (Citação 2008)
Eco QFD	Projeto e fabricação	Bereketli, Genevois e Ziya Ulukan (Citação 2009)
Enquete	EoL	Nnorom, Ohakwe e Osibanjo (Citação 2009)
LCA	EoL	Duan et al. (Citação 2009)
LCA	EoL	Meio-dia, Lee e Cooper (Citação 2011)
LCA	EoL	Deng, Babbitt e Williams (Citação 2011)
Enquete	EoL	Yin, Gao e Xu (Citação 2014)
Modelo simplificado de função logística	EoL	Rahmani et al. (Citação 2014)
Fornecimento de mercado Um método, abordagem de consumo e utilização e vendas e novo método	EoL	Li, Yang, Lu, Canção (Citação 2015)
Enquete	EoL	Yla-Mella, Keiski e Pongrácz (Citação 2015)
QFD difuso	Projeto e fabricação	Wu e Ho (Citação 2015)
EcoSmarT	Projeto e fabricação	Andrae et al. (Citação 2016)
QFD difuso	Projeto e fabricação	Vinodh et al. (Citação 2017)
Abordagem baseada no ciclo de vida	EoL	Badurdeen, Aydin e Brown (Citação 2018)
QFD difuso	Projeto e fabricação	Vimal, Vinodh e Jayakrishna (Citação 2019)

Figura 3 – Ferramentas ambientais utilizadas em artigos de Ecodesign com aplicação a fases do ciclo de vida de produtos eletrônicos.

Fonte: (Adaptado de Jornal Internacional de Engenharia Sustentável, 2021).

Em análise conclusiva, o autor define em 4 perspectivas como design de produto, seleção de materiais, melhorias de processos e modelagem a respeito dos métodos abordados pelos autores e pesquisadores. Para KJ, na categoria seleção de materiais, o método de escolha erro/acerto é ineficiente por elevado gasto de tempo e custos atribuídos. Em relação a métodos qualitativos utilizados, define-se como apropriado para cálculos de índice de sustentabilidade composto.

Outras conclusões abordadas por KJ, a respeito de ferramentas utilizadas pode-se citar, a ACV continua sendo significativamente a ferramenta mais utilizada além de ser aplicada no desenvolvimento de produtos e componentes eletrônicos nas partes de concepção, projetos, processos e avaliações singulares e comparativas. O QFD também foi significativamente utilizado, sendo aplicado também com suas variações QFDE e ECQFD, sendo implementada em algumas ocasiões a linha de raciocínio fuzzy para tratar certas ambiguidades tratadas.

Por fim, KJ Manjunatheshwara (2021), elabora uma estrutura a ser seguida por fabricantes para o desenvolvimento sustentável de produtos eletrônicos. As seguintes etapas devem ser seguidas para um projeto de produto sustentável ser gerado:

- Definição do escopo do problema: objetivos, listagem de facilitadores, atributos e critérios significativos;
- Modelagem: estabelecimento de relação entre fatores de fabricação de produtos eletrônicos sustentáveis;
- Sugestão de ferramentas: ISM, SEM;
- Priorização: materiais, processos e produto baseados em critérios ambientais, sociais e econômicos;
- Sugestão de ferramentas: utilização de técnicas MCDM;
- Etapa de implementação direcionada ao produto: utilização de ECQFD para o projeto e aplicação de diretrizes do DfE;
- Etapa de implementação direcionada aos materiais: utilização de técnicas ampla objetividade para modelagem e definição de materiais;
- Etapa de implementação direcionada aos processos: avaliação das eficiências energéticas, LCAs e desmontagem para melhorias dos processos;

Após as etapas serem concluídas, os resultados devem ser analisados e avaliados com base em critérios e categorias de sustentabilidade referenciados (artigos, base de dados, periódicos). A validação do sucesso da implementação da estrutura, deve ser verificada conforme estudos de casos de produtos e componentes eletrônicos das mais variadas categorias, como tem-se visto na quantidade analisada nas pesquisas.

2.3.2 ESTUDO DE CASO 2: APLICAÇÃO DE ECODESIGN EM CELULARES COREANOS E EUROPEUS (TELA DE DISPLAY)

Outro caso de estudo com aplicação de ferramentas de Ecodesign foi apresentado no Terceiro Simpósio Internacional de Design Ambientalmente Consciente e Fabricação Inversa no Japão em 2003, pelos autores Pil-Ju Park e Kun-Mo Lee da Universidade de Ajou. O método de Ecodesign proposto pelos autores era composto de seis módulos como visto na Figura 4.

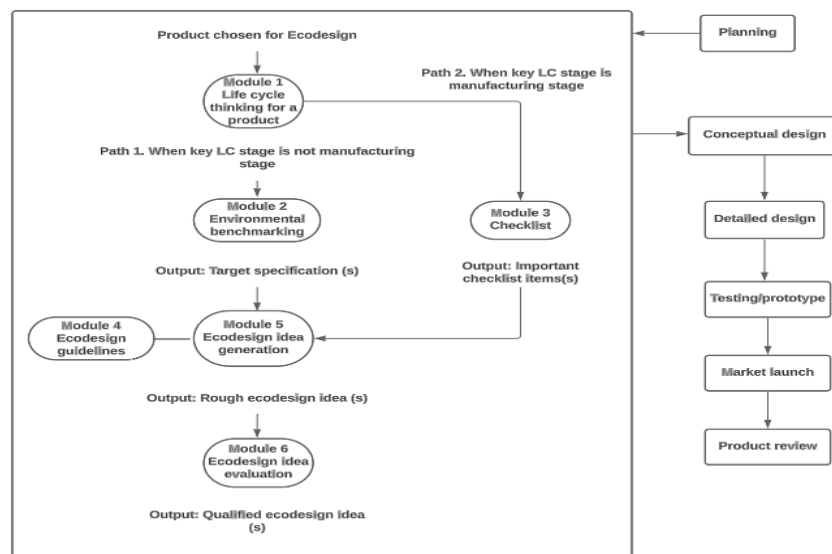


Figura 4 – Fluxograma módulos de aplicação Ecodesign em smartphones.

Fonte: (Adaptado - Development of Ecodesign Method for Electronics Products, 2003).

No primeiro módulo, o ciclo de vida do produto a ser analisado é dividido em 5 etapas: aquisição de matéria prima, fabricação do produto, logística de distribuição, fase de uso e descarte. Em todas as etapas são identificados seus respectivos impactos ambientais e quantificados utilizando ferramentas como matriz de ciclo de vida qualitativa e ACVs. Ao módulo seguinte, matriz benchmarking ambiental e técnicas do princípio 5W1H foram utilizadas para a fase de fabricação do produto. No módulo do checklist, ainda aplicado a etapa de fabricação foram ponderados, avaliados e analisados os riscos de implementação dos processos em uso.

Ao quarto módulo, ficou a etapa de utilização de diretrizes para minimização dos impactos ambientais, onde segundo os autores 25 diretrizes foram avaliadas e colocadas em prática como base para a aplicação. No quinto módulo ocorre a etapa de geração de ideias sobre Ecodesign a serem implementadas ao produto, e por fim na última etapa as ideias obtidas são avaliadas segundo os critérios de: simplificação, teste de falha, ponderação e seleção. O teste de falha consiste em 4 requisitos que a ideia deve ser aprovada para ser qualificada e implementada, dentre eles pode-se citar: requisitos técnicos e legais, restrições de custo e tempo para desenvolvimento.

O método descrito acima foi aplicado pelos autores em 6 modelos de telefones celulares sendo 4 coreanos e 2 europeus. A fase considerada mais alarmante segundo os estudos foi a de aquisição do material e um total 20 ideias geradas de Ecodesign foram analisadas, sendo um total de 4 aprovadas e qualificadas para serem implementadas no design dos celulares. A ideia principal que minimizaria os impactos ambientais da fase descrita seria diminuir as telas LCDs no quesito área da tela de display de 14,02 cm² para 6,7 cm².

2.3.3 ESTUDO DE CASO 3: APLICAÇÃO DE ECODESIGN EM DIGITAL VOICE RECORDER DA PHILLIPS

Um produto eletrônico que é pouco usado atualmente, porém fazia-se presença constante em uma época onde não existiam smartphones ou tablets, sendo muito utilizado por advogados, médicos, detetives era o gravador de voz. Embora ainda seja utilizado, porém em casos raros essa tecnologia foi tema de um estudo de caso produzido pelos autores Wolfgang Wimmer e Rainer Pamminer (2008), ambos do Instituto de Design para Engenharia da Universidade Tecnológica de Vienna.

Além de um novo modelo baseado nos princípios do Ecodesign, um dos objetivos do estudo era fornecer uma vantagem competitiva no mercado perante a concorrência, para isto foi utilizado como referência um gravador de voz conhecido como DPM ou *Digital Pocket Memo* da marca Phillips. O produto em questão é basicamente caracterizado por plásticos, alumínio e outro metais e as fases do ciclo de vida a serem estudadas foram descritas como: matéria prima bruta, processo de fabricação, distribuição, fase de uso e fim de vida.

Em relação a parâmetros analisados para caracterização de impactos ambientais pertencentes a cada fase do ciclo de vida, foram definidas as seguintes: entrada de matéria prima, percentual de recursos primários e secundários, gasto energético durante as fases de fabricação e uso, emissão e geração de resíduos além de produção de substancia perigosas. Com

os parâmetros definidos é possível prosseguir para a próxima etapa de avaliação e perfil ambiental do produto.

Nesta etapa, foi utilizada uma ferramenta composta de seis categorias de avaliação e descrita como “Ecodesign Toolbox para desenvolvimento de conceitos de produtos verdes”. As categorias da ferramenta buscam desenvolver conceitos e ideias capazes de gerar “produtos verdes” e são definidas na seguinte sequência:

1. Descrição do produto;
2. Análise do produto;
3. Análise das partes interessadas (*stakeholder*);
4. Análise dos processos;
5. Processo e melhoria do produto;
6. Conceito de produto verde.

Definidas as categorias de avaliação, segue-se para a plataforma utilizada para análise que consiste em um Ecodesign assistente ou uma ferramenta de avaliação pertencente ao Ecodesign Pilot (*Product Investigation, Learning and Optimisation Tool for Sustainable Product Development*), uma plataforma desenvolvida pela VUT. Uma das funções, é definir a fase do ciclo de vida mais significativa do produto e para isto alguns dados específicos são requisitados para seis formulários baseados nas categorias definidas acima. Na Figura 5 é possível verificar alguns questionamentos requisitados para a categoria descrição do produto como nome, tempo de vida e unidade funcional, utilizados como a alimentação de dados do software.

The screenshot displays the ECODESIGN online PILOT Assistant interface. At the top, there's a navigation bar with 'INTRODUCTION', 'PILOT', and 'ASSISTANT' tabs. Below this, the 'Assistant' section is active, showing a 'Description' tab. The interface includes a sidebar with instructions: 'The ECODESIGN assistant will support you in finding suitable strategies to improve your product. Please complete the six forms below and indicate key data of your product. As a result you will be able to identify the product type and appropriate ECODESIGN improvement strategies; a direct link gets you to the ECODESIGN PILOT checklists. The data you indicate will not be stored or used in any form whatsoever.' The main content area contains three input fields: 'Product Name' with the value 'Voice Recorder', 'Product Life Time' with the value '4' years, and 'Functional Unit' with the value '1 h dictation time, 4 h per day, 250 days per year'. A 'goto next form' button is located at the bottom right of the input area.

Figura 5 – Interface software de avaliação ambiental Ecodesign Pilot.
Fonte: (Adaptado Product innovation through ecodesign, 2008).

Após a inserção dos dados em todos os formulários, a plataforma identifica pontos críticos e características especiais pertencentes a cada fase do ciclo de vida do produto por meio de base de dados. O assistente também traça um perfil ambiental para aquele produto baseado em demanda cumulativa de energia, um tipo de propriedade presente em ACVs. Os resultados obtidos são plotados e quantificados em um gráfico separadamente por fase do ciclo de vida.

Dessa forma, os autores conseguiram provar que para o gravador de voz referindo-se ao exemplo acima, a fase de uso do produto é a mais impactante, sendo assim, melhorias devem ser elaboradas preferencialmente em relação a fase citada e caso o objetivo seja deixar o produto com uma eficiência ambiental ainda maior, pode-se ocorrer melhoramento na fase de escolha do material bruto.

Outra função do EEE Pilot, gerada pelo assistente é o desenvolvimento de estratégias e melhorias a respeito do design do produto não apenas referindo-se a fase de uso, mas no contexto como um todo. Na Figura 8 abaixo, algumas das estratégias plotadas pelo software podem ser visualizadas. Pode-se destacar um planejamento detalhado de ideias a serem tomadas referentes ao consumo de energia mais limpa durante a fase de uso como aplicação de energia fotovoltaica, modo standby, redução da perda de energia da bateria entre outros.

Em relação a estrutura do produto como um todo, vale destacar a referência dos autores a utilização de polímeros como PS, ABS e PP. A substituição desses tipos de materiais por outros de menor impacto ambiental, gera um cenário bastante positivo para o produto e será discutido em sessões posteriores quando a abordagem estará voltada para antenas Wi-Fi. Outra particularidade a ser levantada é a utilização de componentes sem chumbo que é apresentada em pelo menos três ideias analisadas e fornecidas pela plataforma na Figura 6, sendo utilizada no processo de soldagem e também em alguns componentes como placas de circuito impresso e resistores.

Com base nas sugestões de melhorias fornecidas pelo EEE Pilot, a implementação das ideias vai de acordo com a disponibilidade de recursos e as opiniões dos *stakeholders* relacionado ao desempenho técnico do produto não ser modificado, ocorrendo apenas a melhoria no desempenho ambiental. Outro passo que deve ser tomado é a comunicação da empresa fornecedora ao consumidor, sobre o novo design que será fornecido a aquele produto.

Todo produto que possua um desempenho ambiental acentuado deve ser documentado, sendo utilizado como base a norma ISO 14020, 2006 que oferece três formas de realizar essa documentação: através de declarações ambientais, aplicação de eco etiquetas ou desenvolvimento de EPDs (*Environmental Product Declaration*), este último no caso é mais

eficiente para empresas de grande porte sendo também a melhor forma e a mais preparada para explicações do redesenho ou Ecodesign do novo produto ao mercado.

Estratégias derivadas e apropriadas medidas	Ideias de melhoria para implementação - O que fazer?
Melhoria de produtos e processos Digital Pocket Memo	
Análise de produto	
Reduzindo o consumo na fase de uso	
Minimize o consumo de energia na fase de uso, aumentando a eficiência de produtos	Uso de componentes energeticamente eficientes Redesign da eletrônica Minimizando o consumo em stand-by
Possibilitar o uso de energias renováveis e recursos energéticos em fase de uso	Fornecimento de energia para o descanso usando energia fotovoltaica
Minimize a demanda de energia na etapa de uso, escolhendo o princípio adequado da	Possibilidade de ligar e desligar o display LCD Otimize o modo de sono Reduza a perda de energia durante o carregamento Fornecimento de energia alternativa (baterias recarregáveis)
Evitar o desperdício na fase de uso	
Evite e/ou minimize o desperdício no uso padrão	Uso de baterias recarregáveis
Requisitos das partes interessadas	
Requisitos das partes interessadas - QFD	
Melhoria da usabilidade do software	Intuitivo, software autoexplicativo, interface de usuário
Compatibilidade com outros sistemas	Melhorando a interface de processamento de dados
Restrição de uso de chumbo - RoHS	
Uso de peças de produtos sem chumbo	Certificações de subcontratados para peças sem chumbo (resistores, placas de C.I.)
Investigação da solda existente. Máquina em uso sem chumbo	Uso de solda sem chumbo Redução de pontos de solda manual
Tratamento seguro de acordo com WEEE	Aderir a um sistema de cobrança
Concepção do produto para reciclagem	
Melhorando a reciclagem	Use PS, ABS e PP que podem ser reciclados com uma taxa de quase 100% Técnica de casca - usando apenas uma casca, um material para as partes externas e não uma parte plástica como corpo e adicionalmente alumínio como elementos de design
Melhorando a desmontagem	Troca de fixadores

Figura 6 – Ideias para melhoria Digital Voice Recorder plotadas no Ecodesign Pilot.
Fonte: (Adaptado Product innovation through ecodesign, 2008).

Por fim, as mudanças a serem implantadas no design do gravador de voz resultaram na criação de um novo modelo lançado pela Phillips em março de 2007. Utilizando como método análise indicadores de desempenho ambiental (KEPI), algumas categorias foram selecionadas pelos autores de forma a comunicar as mudanças apresentadas no melhoramento ambiental do produto, sendo elas: consumo de material, produção de resíduos, produção de substâncias perigosas, embalagens do produto, consumo de energia e reciclagem. Na Figura 7, tem-se novo design obtido para o gravador de voz em comparação ao modelo anterior.



Figura 7 – Resultado de Ecodesign para o Digital Voice Recorder.
Fonte: (Adaptado Product innovation through ecodesign, 2008).

Com o novo modelo adotado, as seguintes melhorias no desempenho ambiental foram obtidas baseando-se em cada categoria apresentada abaixo:

- Consumo de materiais:
 - (a) Redução material utilizado no carregador alternando o carregamento via cabo USB;
 - (b) Multifuncionalidade de componentes (ex. integração da fonte de alimentação a base);
 - (c) Utilização de adaptadores para o cabo de acordo com cada país, ao invés do oferecimento de vários cabos;
- Consumo de energia:
 - (a) Utilização de componentes aplicados a eficiência energética de qualidade, possibilitando uma redução na energia de 25% para o uso;
 - (b) Utilização de iluminação a base de LEDs no display, acarretando em redução de 20% na energia;
 - (c) Possibilidade de maiores economias de energia ao acrescentar modo *stand by*, acarretando em redução no gasto de energia produzido pelo display LCD;
 - (d) Possibilidade de redução do gasto de energia no modo sono em 50%;
 - (e) Possibilidade de diminuição ainda maior do gasto energético requisitado pelo modo *stand by*, ao utilizar carregamento via cabo USB;
- Geração do produto com foco na reciclagem:
 - a) Utilização de apenas um material para o revestimento externo do produto de forma a possibilitar futura reciclagem do material e redução do uso do material;
 - b) Redução da variedade de componentes do produto ao utilizar peças multifuncionais acarreta em redução de custos da produção;
 - c) Técnicas de montagem e desmontagem do produto ou peças que não necessitem de colas ou soldas em junções, possibilitam redução de custos e materiais;
 - d) Geração de cenário de fácil desmontagem (utilização de encaixes ou parafusos que possam ser removidos por chaves de fenda), ao invés de utilizar maquinário;

Por tais razões, após a implementação das ideias propostas acima, os autores realizaram uma ACV a fim de comparar os modelos do DPM (antigo e novo). O resultado além de positivo acarretou em mudanças significativas quanto ao perfil ambiental do produto analisado. Na

categoria GWP ou Potencial de Aquecimento Global, a partir do novo design do produto houve uma redução de 86,1% de Kg CO₂ produzidos, comprovando assim a eficiência do novo produto ou Ecodesign estabelecido.

2.4 APLICAÇÃO DE ECODSIGN NO DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS ELETRONICAS NA LITERATURA

2.4.1 ESTUDO DE CASO 4: APLICAÇÃO DE ECODSIGN EM USINAS FOTOVOLTAICAS

Como dito anteriormente, algumas ferramentas podem se complementar a fim de produzir uma análise mais complexa dependendo do objetivo a ser alcançado. Para o próximo caso, essa junção de técnicas visa analisar estruturas maiores e como modifica-las beneficilmente no quesito ambiental sem perder sua capacidade técnica. A exemplo disso tem-se o estudo dos autores Martin János Mayer, Artúr Szilágyi e Gyula Gróf (2020) que possibilitam ao leitor a combinação de uma otimização econômica e ambiental aplicada ao dimensionamento e estruturação de usinas fotovoltaicas.

O estudo consiste na utilização do LCOE ou traduzindo Custo Nivelado da Eletricidade que representa uma ferramenta referente a área de economia para cálculos de viabilidade financeira da usina, e em relação ao lado ambiental a aplicação da metodologia EF (*Environmental Footprint*) ou pegada ambiental utilizando a ferramenta de Ecodesign, Avaliação do Ciclo de Vida implementados em MATLAB.

Num primeiro momento, voltados ao desempenho técnico da planta de painéis fotovoltaicos, foi realizado um levantamento dos materiais utilizados para cálculos de dimensionamento e rendimento da usina. Na etapa seguinte, os autores concentram-se no foco ambiental da análise e o levantamento passou a adquirir componentes e materiais inclusos na estrutura da usina, dessa forma cálculos como número de módulos fotovoltaicos, superfície total, número de inversores, área total, massa da estrutura de aço e massa de cobre presente nos cabos DC e AC complementaram o escopo do ICV.

Assim, na próxima etapa foi possível realizar uma estimativa referente aos impactos ambientais emitidos pelo ciclo de vida da usina fotovoltaica. Como definição, foi escolhida pelos autores como unidade funcional a geração de 1MWh de eletricidade em corrente alternada e a base de dados utilizada pertencente ao Ecoinvent 3.5.

Como dito anteriormente, a escolha metodológica de avaliação foi designada ao *Product Environmental Footprint* (PEF) e suas categorias de impacto divididas em 4 classificações referentes aos tipos de danos causados, sendo eles:

- Mudança climática: aquecimento global (GWP);
- Qualidade do ecossistema: acidificação de água doce e terrestre (PA), ecotoxicidade de água doce (FETP), e os casos de eutrofização de água doce (FEP), marinha (MAETP) e terrestre (TEP);
- Saúde humana: efeitos cancerígenos (HHC), efeitos de radiação ionizante (RI), efeitos não cancerígenos (HHNC), destruição da camada de ozônio (ODP), criação fotoquímica de ozônio (POCP) e efeitos respiratórios e inorgânicos (RE);
- Recursos: esgotamento de combustíveis fósseis (FFD), uso de terra (LU), depleção de metais e minerais (MMD) e esgotamento de água (WDP);

A pontuação total da PEF é calculada através de normalizações e ponderações devido aos diferentes tipos de categorias de impactos apresentadas. Combinados com fatores de viabilidade econômica e otimização que não serão levados em conta neste estudo e após análises de dados obtidos, Martin János Mayer, Artúr Szilágyi e Gyula Gróf chegaram as seguintes discussões e conclusões:

- A utilização da metodologia Environmental Footprint pode otimizar todas as categorias de impacto apresentadas;
- O cálculo de LCOE resultante está na faixa de 57 a 77 Euros/MWh para localidades que ofereçam as devidas condições climáticas;
- O potencial de aquecimento global é na faixa de 38 a 52 kg de CO₂/MWh e uma pegada ambiental de 4,9 a 6,8 Pt/MWh;
- Na questão utilização de materiais, a diminuição deve ser focada no uso de cobre e aço favorecendo a redução dos impactos ambientais e otimização por outro lado ao fator de capacidade da usina;
- Os parâmetros a serem aplicados para esta diminuição começam por: intervalos entre as linhas de painéis fotovoltaicos serem 2 a 3 vezes maiores, inclinação utilizada nos módulos de captação estarem 10 a 50% mais íngremes e por fim um aumento da relação de intensidade de correntes CA (corrente alternada) e CC (corrente contínua);

- As aplicações acima acarretam numa redução de impactos relacionando o uso de componentes com a forma de montagem das estruturas. O tipo de impacto pode ser reduzido de 2 a 10%, dependendo de sua variação ou categoria;
- As melhorias citadas teriam um aumento de 3 a 6% em relação ao custo mínimo necessário para implantação da usina;
- Em suma, os resultados indicam que um terço da potencialidade máxima de redução dos impactos ambientais podem ser obtidos por 1% dos custos adicionais;

Por fim os autores destacam algumas limitações de estudo a serem contornadas, direcionando a pesquisas futuras e afirmam que seus métodos de análises aplicados a dados específicos de módulos fotovoltaicos ajudariam muitos engenheiros no dimensionamento e estruturação de novas usinas a serem criadas. As limitações mencionadas são definidas abaixo:

- Custos e impactos de ciclo de vida com aplicação especificamente as redes de energia;
- Cenários de fim de vida aplicados a equipamentos elétricos já em uso;
- Impactos ambientais causados por usinas em relação ao uso da terra e combinação com terras agrícolas.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 OBJETIVO E ESCOPO

Nesta seção, serão apresentadas informações relacionadas ao produto examinado nesta dissertação, juntamente com os métodos usados para a análise do ciclo de vida de uma unidade da Antena Wi-Fi TPLINK de 2,4GHz/5,8GHz e 5dBi. O objetivo é propor cenários de melhoria que se alinhem com os princípios do Ecodesign, superando o desempenho do produto original. O estudo começa com a remoção de materiais primas da natureza, avançando para os processos de fabricação dos componentes, incluindo a utilização de máquinas e ferramentas, culminando na montagem do produto final. Isso caracteriza um sistema de produção do tipo *Cradle-to-Gate*.

A unidade funcional escolhida é o próprio produto, ou seja, uma Antena Wi-Fi TPLINK de 2,4GHz/5,8GHz e 5dBi. Essa decisão visa analisar os impactos gerados pelo produto como um todo, bem como avaliar as melhorias propostas por meio de ACVs conduzidas de acordo com os princípios das normas ISO 14040 e ISO 14044. Estes incluem o cenário base e os cenários alternativos, que serão considerados posteriormente.

Por meio de Engenharia Reversa conduzida em um ambiente laboratorial, o produto foi desmontado em seus componentes, subsistemas e sistemas. Cada componente foi minuciosamente avaliado quanto aos materiais utilizados, com a ajuda de fichas técnicas (*datasheets*) dos fornecedores do produto, disponíveis na literatura. Esse procedimento permitiu tornar o processo mais eficiente e reduzir a margem de erro. O sistema de produto e suas etapas adjacentes foram então modelados no software de avaliação ambiental GaBi Professional, licenciado pelo Centro de Tecnologias Avançadas e Sustentáveis (CAST), sob a liderança dos orientadores desta pesquisa. Por fim, os cálculos de consumo de energia em máquinas e ferramentas foram igualmente baseados em manuais e fichas técnicas, detalhados nos Apêndices A, B e C e nos Anexos A, B, C, D e E.

3.2 ACV E SUAS ETAPAS

3.2.1 ANÁLISE DO INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA

Inicialmente, é fundamental compreender o Inventário do Ciclo de Vida (ICV) e seu papel essencial no contexto de uma Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Nessa fase, todos os fluxos que desempenham um papel no processo são definidos, podendo ser classificados como

entradas ou saídas. No contexto deste estudo, os parâmetros a serem considerados incluem a massa dos materiais, as energias consumidas pelas máquinas, os processos de fabricação e os tipos de componentes. Esses fluxos desempenham um papel fundamental ao fornecer dados para o software GaBi Professional.

Segundo a ISO 14040 (2009), cada processo, fluxo, componente é fundamental para a produção com um todo e deve ser classificado em alguma das categorias abaixo para alimentar o sistema de forma adequada, sendo elas as seguintes:

- Inserção de energias, matérias primas, auxiliares ou físicas;
- Produtos, co-produtos ou resíduos;
- Dejeção de componentes químicos no solo ou água ou emissões de substâncias poluentes na atmosfera;
- Outros parâmetros ambientais que possuam alguma relação com o sistema.

Assim, após a classificação dos dados do ICV, o entendimento fica mais simples além de ser mais eficaz a montagem da estrutura de produção no software.

3.2.2 PROCESSOS E COMPONENTES

Após a fase de desmontagem, pesagem e classificação dos componentes da Antena Wi-Fi em ambiente laboratorial, torna-se crucial a identificação dos processos e equipamentos empregados na fabricação do produto como um todo. Essa organização permite uma análise preliminar dos componentes, possibilitando a formulação de hipóteses iniciais sobre os possíveis impactos relacionados a certos elementos, como os polímeros e metais, que serão explorados em detalhes em detalhes posteriores deste estudo.

É igualmente relevante destacar que, até o estágio atual do desenvolvimento deste projeto, não foi possível conduzir uma pesquisa de campo junto à empresa ou fabricante do modelo do produto. Isso deve ser uma dificuldade específica de acesso a dados específicos de fabricação que geralmente não são disponibilizados aos consumidores. Portanto, é oportuno registrar que o Inventário do Ciclo de Vida (ICV) do produto em análise é composto basicamente por informações obtidas em ambiente laboratorial e pesquisas na literatura, incluindo *datasheets* que estão disponíveis nos apêndices e anexos deste trabalho e abordam todos os dados relativos à estrutura externa e interna da antena.

Em relação aos cálculos de energia relacionados a cada componente e inseridos no software GaBi *Professional*, os maquinários e ferramentas da produção foram pesquisados e analisados acerca de dados que fossem úteis como: potência, consumo, capacidade de produção

entre outros. Em complemento, houve a necessidade de parâmetros métricos como comprimento e massa das peças a fim de auxiliar em cálculos específicos energéticos para determinado componente. A Equação 1 utilizada para determinação dos gastos energéticos, encontra-se abaixo onde P é a potência do maquinário ou ferramenta em KW (quilowatts) e t (horas) é o tempo gasto para a produção da peça. Para adequar-se ao software, onde os fluxos de energia são trabalhados em MJ (Megajoule), foi realizado a conversão de unidades de medidas.

$$E (KWh) = P . t$$

$$1 KWh = 3,6 MJ \quad (1)$$

De forma a deixar as informações acima mais organizadas, na Tabela 1 encontram-se todos os componentes, processos específicos, recursos e montagem a respeito do produto estudado.

Tabela 1 – Componentes, processos específicos, recursos e montagem do cenário base.

Modelo	Antena Wifi TPLINK 2,4GHz/5,8GHz 5dBi			
				
Componente	Composição	Processo	Recursos	Montagem
Casca (Radome)	Termoplástico poliuretano (TPU)	Extrusão para polímeros	Energia	Estrutura externa
Espuma do Filamento	Espuma poliuretano (PU)	Laminação de espuma PU	Energia	Filamento interno
Ruela Grossa	Latão	Chapeamento e prensa de corte	Energia	Filamento interno
Ruela Fina	Latão	Chapeamento e prensa de corte	Energia	Filamento interno
Borracha Capa Protetora	Polibutadieno (Borracha)	Extrusão para polímeros	Energia	Filamento interno
Casca Protetora SMA	ABS+PC	Extrusão para polímeros	Energia	Estrutura externa
Engate Plástico Cabo de Aço	ABS+PC	Extrusão para polímeros	Energia	Estrutura externa
Engate Plástico 2,4GHz	ABS+PC	Extrusão para polímeros	Energia	Estrutura externa
Borracha Laranja Conector SMA	Polibutadieno (Borracha)	Extrusão para polímeros e corte do elástico	Energia	Conector SMA
Parte Interna Conector SMA	Latão	Dobramento de chapa	Energia	Conector SMA
Parte Externa Conector SMA	Latão	Dobramento de chapa	Energia	Conector SMA
Teflon SMA sem conector	Politetrafluoretileno (Téflon)	Extrusão para polímeros	Energia	Conector SMA
Conector Interno do Teflon SMA	Fósforo de Bronze ou Bronze Puro	Fundição e dobramento de chapa	Energia	Conector SMA
Filete de cobre - Filamento	Cobre	Enrolamento de bobina	Energia	Filamento interno
Material preso ao filamento de cobre	Latão + Zinco	Armazenamento em tarugo	Energia	Filamento interno
Tubo de metal sem teflon	Alumínio	Dobramento de chapa	Energia	Filamento interno
Teflon do tubo de metal	Politetrafluoretileno (Téflon)	Extrusão para polímeros	Energia	Filamento interno
Capa externa (cabeamento)	Polietileno (Plástico)	Extrusão para polímeros	Energia	Filamento interno
Malha externa (cabeamento)	Alumínio	Trefilação e trançamento de fio	Energia	Filamento interno
Capa interna (cabeamento)	Polietileno (Plástico)	Extrusão para polímeros	Energia	Filamento interno
Malha interna (cabeamento)	Alumínio	Trefilação e trançamento de fio	Energia	Filamento interno
Após a produção, foram utilizados mais dois processos				
Filete de cobre + Barra de latão	Cobre + Latão	Soldagem	Energia	Filamento interno
Malha externa + Capa externa	Alumínio + Polietileno	Extrusão para fios e cabos	Energia	Filamento interno
Malha interna + Capa interna	Alumínio + Polietileno	Extrusão para fios e cabos	Energia	Filamento interno

Fonte: (Próprio autor)

Vale ressaltar que, na versão profissional do software GaBi, foram disponibilizadas todas as matérias-primas possíveis para a fabricação dos componentes, o que distingue essa versão da versão estudantil, que também foi utilizada em alguns experimentos deste estudo. Além disso, processos que não foram apresentados no banco de dados do software foram criados pelo autor com o objetivo de garantir maior abrangência e validade aos resultados que serão apresentados posteriormente. É importante mencionar, por se tratar de um software relativamente importante no contexto de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), sua base de dados vive constante expansão, e a contribuição de informações é fundamental no crescimento da plataforma.

Em relação aos subsistemas que são específicos para a antena como um todo, esta seção também abordará cada um deles e suas respectivas funções. Começando pela estrutura interna, é responsável por irradiar o sinal através do produto. Em geral, um elemento irradiador é composto por metais, sendo o cobre o material mais comumente empregado em telecomunicações para a propagação de ondas eletromagnéticas. A composição da estrutura interna pode ser resumida da seguinte forma:

- Filamento irradiador a base de cobre ou latão;
- Bobina fabricada geralmente com o mesmo material do filamento irradiador a fim de garantir certa resistência ao circuito;
- Pequena espuma a base de PU que possui como função de demarcação e sustentação dentro da casca pertencente a estrutura externa;
- Por fim, um pequeno tubo de latão também utilizado como função de sustentação para a base e o conector SMA. Em seu interior, há a presença de um material dielétrico como téflon.

As Figuras 8 e 9 proporcionam uma análise mais detalhada da estrutura interna. A primeira figura apresenta um esquema ilustrativo, enquanto a segunda apresenta uma imagem real do interior da antena.

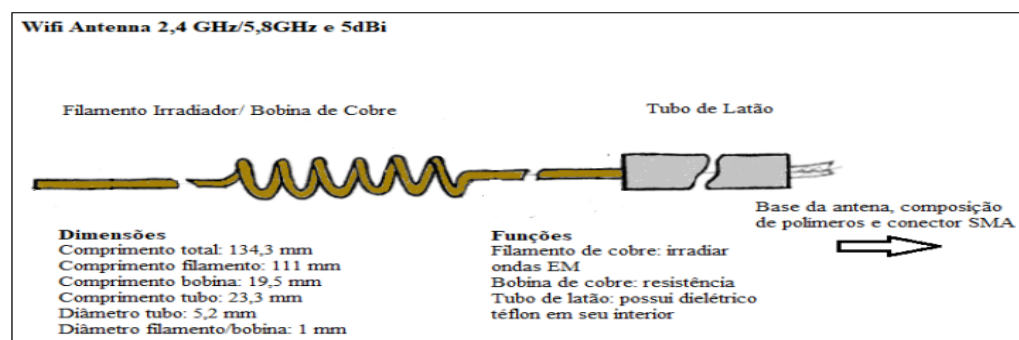


Figura 8 – Esquemático relacionado a estrutura interna. Filamento irradiador e bobina.
 Fonte: (adaptado de D. Skootsone, 2018).

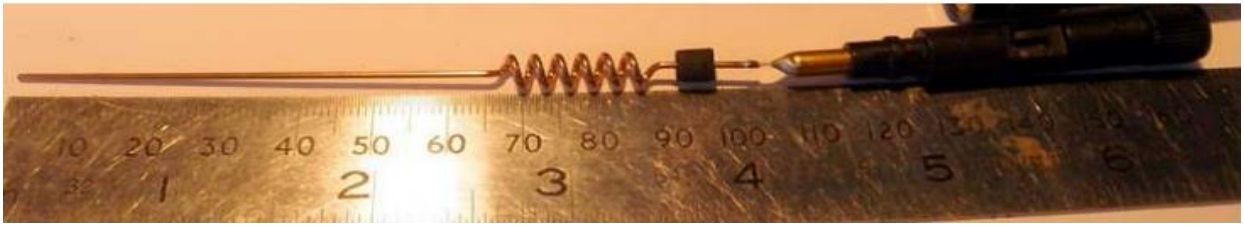


Figura 9 – Imagem real da estrutura interna de uma Antena Wi-Fi.
Fonte: (próprio autor).

O próximo subsistema a ser examinado é a estrutura externa, ou seja, o invólucro ou radome que envolve e protege todos os componentes internos, desempenhando a função de proteção da antena. Em termos de composição, esse subsistema pode ser descrito da seguinte maneira:

- A casca ou radome é composto por TPU ou Termoplástico Poliuretano, que além de apresentar rigidez para proteção, pode ser modelado em diferentes formatos oferecendo flexibilidade e maleabilidade ao produto;
- Abaixo do radome, encontra-se uma base rígida que envolve o conector SMA e o protege contra possíveis avarias. Essa base é formada por ABS+PC ou seja, uma liga de Policarbonato e Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno. A mistura dos dois polímeros tem como objetivo fornecer ao material propriedades mecânicas e térmicas pertencentes ao PC mais a processabilidade do ABS. Possui maior rigidez do que TPU da casca;
- Em conexão com a base, encontra-se o engate plástico também formado por ABS+PC cujas funções desempenhar proteção a um pequeno conjunto de fios de alumínio trançados e encapados com PE ou Polietileno, que liga um engate a outro, garantindo assim a conexão do conector SMA ao filamento irradiador no topo da antena. Como função secundária, mas não menos importante, garantir que a dobradura do engate realize sua inclinação a fim de conduzir melhor posicionamento da antena em conjunto com o roteador.

Por fim, mas não menos importante tem-se o terceiro subsistema: o conector SMA. Abaixo segue uma breve descrição dos componentes e materiais pertencentes a esta estrutura:

- Composição simplificada de um conector SMA em sua camada externa a base de latão;
- No interior do tubo de latão possui um material dielétrico geralmente composto por politetrafluoretileno ou téflon (PTFE);

- Como material condutor, um pequeno filamento de bronze que pode ou não estar com uma camada estanhada é encontrado no interior do material dielétrico.

Em conclusão, tem-se a Figura 10 representando os três subsistemas apresentados, onde mais detalhes dos componentes e seus respectivos materiais podem ser encontrados nos *datasheets* presentes em anexo A, B e C.



Figura 10 – Representação real Antena Wi-Fi.
Fonte: (próprio autor).

3.2.3 AVALIAÇÃO DE IMPACTO DO CICLO DE VIDA

Nesta fase das Avaliações do Ciclo de Vida (ACV), a análise cuidadosa dos possíveis impactos potenciais desempenha um papel de extrema importância. É fundamental garantir que a relação entre o Inventário de Ciclo de Vida (ICV) e o conhecimento sobre impactos já reconhecidos na sociedade, como o aquecimento global, estejam bem alinhados. Isso permite que esses elementos trabalhem em conjunto, oferecendo uma melhor compreensão dos impactos potenciais que o produto analisado neste estudo pode causar.

Após a compreensão das informações mencionadas acima, é importante destacar outras informações de grande relevância, relacionadas ao cumprimento das diretrizes da NBR (ISO 14040, 2009). De acordo com essa norma, o primeiro passo ao iniciar uma Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é fazer uma escolha precisa entre o objetivo e o escopo do estudo, ou seja, garantir que estejam perfeitamente posicionados. Portanto, para alcançar os resultados desejados, é crucial estabelecer metas que assegurem a concordância entre o objetivo final e o objetivo e escopo do estudo. Caso essas metas não sejam atingidas, os ajustes serão necessários.

Por fim, e não menos importante, com base na NBR (ISO 14040, 2009), é relevante destacar as subdivisões do AICV, que, sendo um método que abrange tanto aspectos qualitativos quanto quantitativos, garante que essas subfases resultem em definições de transmissão precisas em relação à execução e veracidade do estudo. As subfases a seguir podem ser delineadas da seguinte forma:

- Em relação a definição dos elementos pertencentes ao AICV, devem garantir nitidez e distinção entre eles;
- Conforme dito anteriormente, a importância de estabelecer ligação entre os elementos do AICV com as fases de objetivo e escopo da ACV, é de extrema relevância, porém devem manter-se independentes entre si;
- A inserção de ferramentas da qualidade como avaliações direcionadas as decisões tomadas pelo AICV, também podem ser tomadas em relação aos elementos;
- Quaisquer outros métodos, procedimentos ou atividades auxiliares pertencentes ao AICV devem demonstrar totais transparências em todo o estudo;
- Valores, sejam eles qualitativos ou quantitativos utilizados nos elementos do AICV também devem oferecer transparência a fim de serem revisados de forma crítica.

Na Figura 11, tem-se em resumo o fluxograma representativo das fases pertencentes ao AICV relatadas acima.

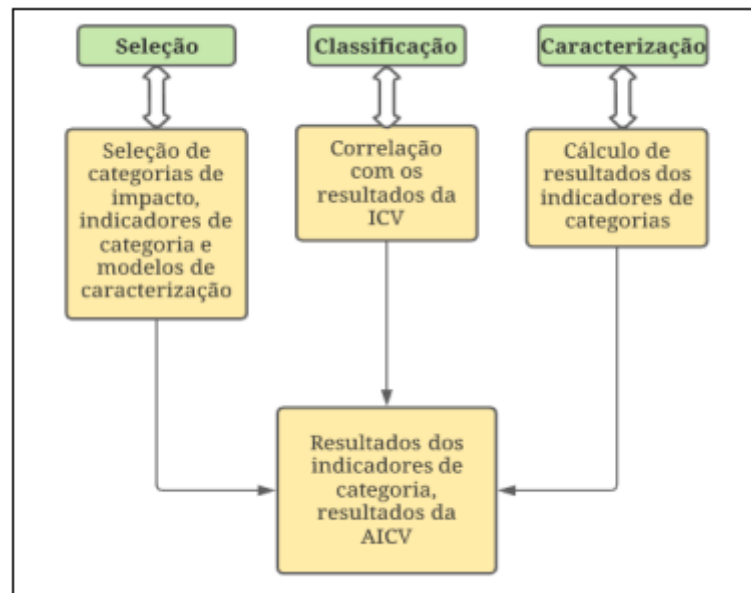


Figura 11 – Fluxograma de fases do AICV.
Fonte: (adaptado de NBR ISO 14040, 2009)

3.2.4 DEFINIÇÃO DE CATEGORIA DE IMPACTO

Nesse ponto do trabalho, a caracterização de modelagens e seus respectivos impactos ambientais também possui grande relevância a fim de melhor entendimento para as sessões

posteriores. Dentre elas, pode-se citar as mais destacadas para o cenário de avaliação do processo de AICV bem como suas particularidades.

- CML 2001 – 2016;
- Environmental Footprint 2.0;
- Recipe 2016 v1.1 Midpoint;
- Traci 2.1.

Os parâmetros abrangem informações a respeito dessas regiões relacionados a produção e emissão de substâncias líquidas, sólidas ou gasosas em meios aquáticos, terrestres ou atmosféricos. A exemplo mudanças climáticas, acidificação, eutrofização, são resultados dessas modelagens que acabam por ser classificados com os impactos ambientais.

Abordando unitariamente cada modelagem, segue abaixo algumas informações importantes que posteriormente serão utilizadas como forma de escolha do modelo mais aceitável para o escopo da análise do produto, dependendo dos fatores de normalização que nada mais são que, cálculos estatísticos acerca de emissões de substâncias além de suas caracterizações, assim definindo níveis a respeito da região específica.

- CML 2001-2016: trata-se de uma modelagem de origem holandesa criada no Instituto de Ciências Ambientais da Universidade de Leiden, que possui fatores de normalização em abrangência as regiões da União Europeia e Global (GaBi, 2018);
- Environmental Footprint 2.0: base de dados originada a partir do Ecoinvent e GreenDelta, a fim auxiliar os estudos acadêmicos da *Organization Environmental Footprint* (OEF) e *Product Environmental Footprint* (PEF). Seus fatores de normalização possuem abrangência a região da União Europeia (GaBi, 2018);
- Recipe 2016 v1.1 Midpoint: outra metodologia originada a partir de duas, o CML 2001 e o Ecoindicator 99 e por ambas serem europeias, seu fator de normalização também abrange essa região. Seu diferencial está no aproveitamento de pontos médios do CML 2001 (mudanças climáticas, eutrofização, acidificação entre outros) com pontos finais do Ecoindicator 99 (disponibilidade de recursos e danos à saúde humana e animal) (GaBi, 2018);
- Traci 2.1: por fim a metodologia mais divergente das outras em questão, por possuir fatores de normalização relacionados a região da América do Norte. Foi criada pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos e tem como

diferencial a “Ferramenta para Redução e Avaliação de Químicos e Outros Impactos Ambientais”, cuja função além de identificar o impacto ambiental, apresenta soluções para reduzi-lo.

Além das citadas acima, bem como modelagens utilizadas para a criação de outras (Ecoinvent, GreenDelta, Ecoindicator 99), na literatura há uma maior variedade de opções. A diferenciação está na escolha da qual mais se adapta ao objetivo e escopo do produto. Casos aplicados especificamente a antenas Wi-Fi ou qualquer outro modelo não foram encontrados. Como mostrado na sessão de revisão bibliográfica, em vários casos de aplicação de Ecodesign em produtos das telecomunicações, ACVs foram utilizadas bem como modelagens aplicadas ao produto analisado. Abaixo segue alguns exemplos encontrados na literatura:

- O autor Sirney Silveira aplicou ACVs em seus estudos com abordagem em cabamentos metálicos e ópticos nas telecomunicações. Durante a fase de AICV, o mesmo utilizou das metodologias EDIP e CML, devido a ambas apresentarem parâmetros relacionados a intervenções ambientais do local da análise do produto (SILVEIRA, 2013);
- Um segundo estudo publicado pelo autor Marcelo Guimarães Araújo em 2013, mostra que o mesmo abordou em sua pesquisa a metodologia CML, pertencente ao banco de dados do Ecoinvent. O motivo da escolha trata-se que os processos oferecidos e padrões do Ecospolld podem ser importados e carregados em diferentes outros softwares de avaliação (ARAÚJO, 2013);
- Outra constatação, a autora Natalia Mendes Crespo em seu estudo intitulado “Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida: revisão dos principais métodos”, relata que a utilização de metodologias europeias, são mais frequentes em estudos com aplicação de ACVs em produtos das telecomunicações (MENDES, 2013);
- Um dos casos de aplicação de Ecodesign descritos na sessão de Revisão Bibliográfica, trata-se da aplicação da ferramenta em usinas fotovoltaicas. Durante a etapa de ACV, a metodologia aplicada foi a Environmental Footprint, novamente sendo um modelo europeu como dito anteriormente (MAYER, 2018).

Por essas constatações, coube ao autor a escolha de uma metodologia a ser aplicada durante o processo de apuração dos resultados do AICV, sendo a mais direcionada ao objetivo e escopo do produto, a metodologia CML 2001. Na Tabela 2 encontram-se as categorias de impactos ambientais utilizados no CML 2001 e que estarão sendo abordadas para melhor

compreensão dos resultados finais da ACV. As definições das categorias encontram-se abaixo da tabela para melhor entendimento.

Tabela 2 – Categorias de impactos ambientais utilizadas pela metodologia CML 2001.

Metodologia	Categoria de Impacto	Descrição	Indicador de medida
CML 2001	GWP	Potencial de aquecimento global	kg CO2 eq.
	AP	Acidificação	kg SO2 eq.
	EP	Eutrofização	kg Phosphate eq.
	ODP	Depleção de ozônio	kg R11 eq.
	TETP	Ecotoxicidade terrestre	kg DCB eq.
	FAETP	Ecotoxicidade aquática (lagos e rios)	kg DCB eq.
	MAETP	Ecotoxicidade aquática (mares e oceanos)	kg DCB eq.
	ADP elements	Depleção elementos energéticos	kg Sb eq.
	ADP fossil	Depleção elementos energéticos fósseis	MJ
	HTP	Potencial de toxicidade humana	kg DCB eq.
	POCP	Potencial de criação de ozônio fotoquímico	kg Ethene eq.
	GWP, excl biogenic carbon	Potencial de aquecimento global, excluindo carbono biogênico	kg CO2 eq.

Fonte: (próprio autor)

Potencial de aquecimento global – Mudanças climáticas (GWP – *Global Warming Potential*) trata-se de uma das categorias mais importantes por possuir relação direta com o efeito estufa e o aquecimento global. Dependendo da metodologia a ser utilizada, sua nomeação pode ser alterada, porém sempre está presente. Consiste basicamente em um fator de medição relacionado a gases significativos emitidos na atmosfera, tais como, dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e dióxido de nitrogênio (NO₂). A distinção das 5 categorias de GWP apresentadas acima, deve-se ao fato da inclusão ou exclusão de componentes específicos (CUBALA, 1999).

Acidificação – trata-se de um processo químico que ocorre quando há a emissão de substâncias gasosas que possuam em sua composição os elementos químicos nitrogênio ou enxofre. Em sequência, há a possibilidade de tais componentes entrarem em contato com água, gerando uma solução ácida, a qual dependendo do componente, pode ser composta por ácido sulfúrico (H₂SO₄) ou ácido nítrico (HNO₃). A formação de chuvas ácidas é originada deste processo, sendo grande parte ocasionada pela queima de combustíveis fósseis que emitem na atmosfera dióxido de enxofre (SO₂) ou óxidos de nitrogênio como o NO₂. Os resultados desse fenômeno podem ser devastadores dependendo do nível de poluição do local, acarretando em

danos a estruturas (metálica ou alvenaria) e em ecossistemas (rios, animais e vegetação) (CUBALA,1999).

Eutrofização – outro processo químico, só que dessa vez com a emissão de nitratos ou fosfatos que adentram em ambientes aquáticos tais como, rios, lagos e lagoas. Basicamente, a grande mudança dá se pelo fato do aumento da velocidade relacionado a um processo biológico no ecossistema em questão. O exemplo mais simples de eutrofização, seria o crescimento desenfreado de algas na superfície de uma lagoa ocasionando em danos aos próprios organismos da superfície e aos pertencentes ao leito. A explicação para isto, dá-se pelo fato dos elementos nitrogênio (N) e fósforo (P), em quantidades ponderadas serem importantes para a produção de vegetação (CUBALA, 1999).

Ecotoxicidade – categoria que analisa impactos ambientais relacionados a emissão de quaisquer substancias danosas em contato com a água ou solo, a respeito de uma produção. Na metodologia CML 2001, a mesma encontra-se dividida em outras 3 categorias TETP, MAETP e FAETP (terrestre, água marinha e água doce) (CUBALA, 1999).

Toxicidade Humana – do mesmo modo como a categoria detalhada acima, esta possui relação direta com os seres humanos, uma vez que há o contato ou exposição dos mesmos com substancias danosas emitidas pela produção industrial e os intensos tráfegos dos veículos a combustão fóssil nas megacidades (CUBALA, 1999).

Esgotamento de recursos fósseis/combustíveis – essa categoria possui como fator de medida a capacidade de extração de recursos de origem fóssil no período de um ano. Quando se define fóssil, falam-se apenas de petróleo, gás natural e carvão. O esgotamento refere-se a questão de as reservas serem finitas e sua renovação depende de longos períodos de tempo. Em relação ao CML 2001, essa categoria é dividida em 2 outras denominadas ADP elements e ADP fóssil (CUBALA,1999).

Potencial de criação de ozônio fotoquímico ou smog – esse efeito é causado apenas em épocas específicas como o outono, onde há a grande presença de dias quentes e umidade baixa acarretando na formação de uma neblina densa nas cidades. Novamente ocorre com a existência de óxidos de nitrogênio como NO_2 , ocasionando nos seres humanos doenças respiratórias como asma, bronquites e até enfisemas. Esse tipo de neblina é bem comum nas megacidades devido ao tráfego e produção intensa emitida pelos parques industriais (CUBALA, 1999).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após o entendimento do capítulo de Materiais e Métodos e a designação da metodologia CML 2001 para a abordagem do AICV, nessa sessão abordados os resultados obtidos pela avaliação do *software* GaBi Professional referentes aos cenários base (antena fabricada na indústria) e cenários alternativos com propostas de melhorias baseado em princípios do Ecodesign, vistos na sessão de Revisão Bibliográfica.

Vale relembrar como visto na sessão anterior, após a montagem do ICV, os resultados do AICV são de extrema importância além de serem a última etapa do estudo, para confirmar a veracidade da ACV e todas as etapas anteriores. Uma correta análise e apuração dos resultados, gera a possibilidade de soluções para determinados impactos possam ser apontados como problemas durante a produção do produto.

Em relação as soluções, os cenários alternativos foram criados baseando-se em impactos obtidos pelos resultados do AICV pertencentes ao cenário base. As mesmas podem variar conforme análise e apontadas como sendo a melhor ou pior solução baseando-se em ACVs criadas para os cenários alternativos. Dessa forma, as soluções ou cenários alternativos serão analisados qualitativamente e quantitativamente assim como o cenário base.

Para melhor entendimento da montagem da produção da Antena Wi-Fi em seu cenário base na interface do *software* GaBi, a Figura 12 abaixo detalha todos os planos de produção de seus respectivos componentes, bem como processos, subprocessos, fluxos, recursos e auxiliares necessários para a geração do produto. É perceptível na Figura 12 que o produto final com seu cenário base está localizado ao centro e possui ligação com todos seus componentes de forma que estabeleça a questão de processos e subprocessos.

Outra informação de extrema relevância consiste no conteúdo de cada caixa plano. As mesmas abordam toda a produção necessária para cada componente separado da antena, onde no plano abaixo foram reagrupados em seus respectivos subsistemas. Na Figura 13, segue o modelo de caixa plano que reflete a produção isolada da componente bobina de cobre. Para melhor entendimento de componentes, subsistemas e processos abaixo seguem exemplos para breve explicação.

- Processo de produção: Antena Wi-Fi ↔ subsistema: conector SMA ↔ componentes: tubos de latão e bronze e dielétrico téflon;
- Processo de produção: Antena Wi-Fi ↔ subsistema: filamento interno ↔ bobina de cobre.

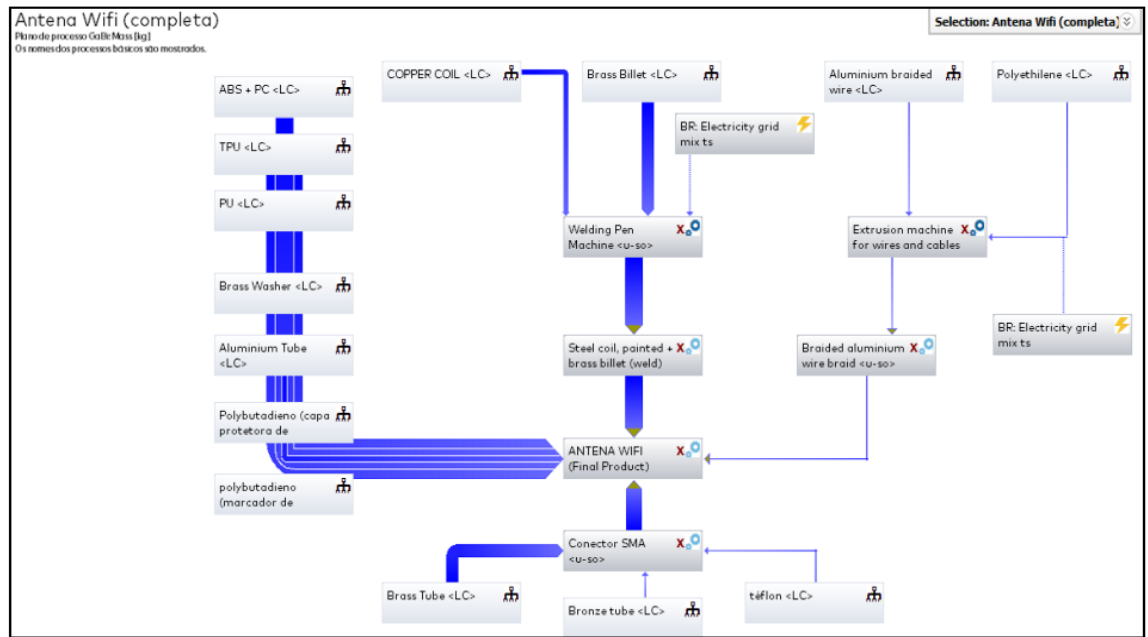


Figura 12 – Interface da produção da Antena Wi-Fi no software GaBi Professional.
Fonte: (próprio autor)

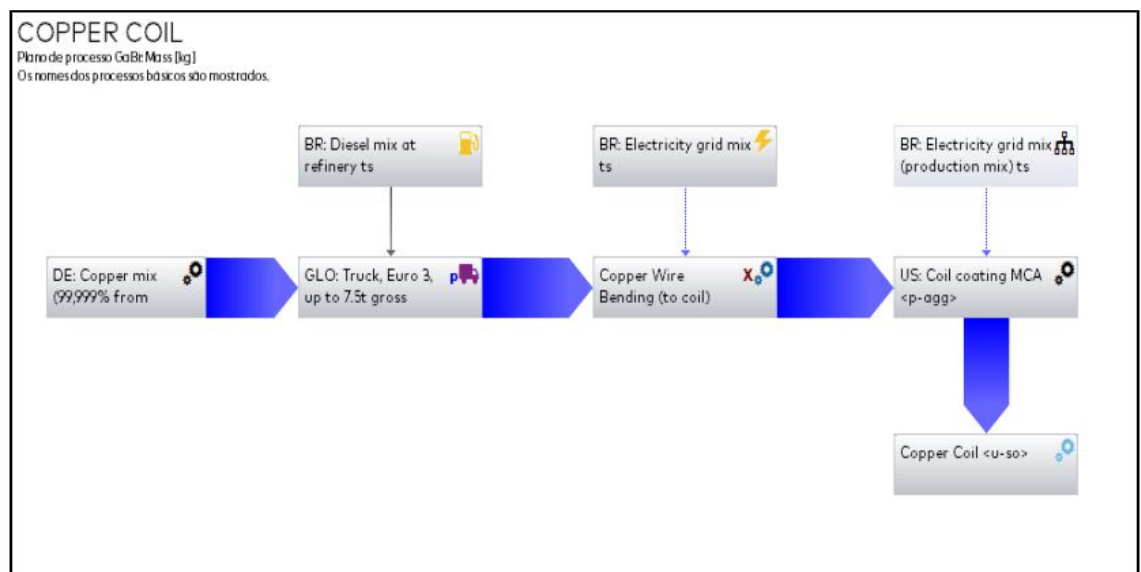


Figura 13 – Plano de produção do componente filamento bobina de cobre.
Fonte: (próprio autor)

Após as explicações acerca das imagens e toda estrutura referente a produção montada na interface do *software* GaBi Professional, pode-se passar para a apuração dos resultados. Lembrando que como o produto em análise como um todo foi dividido em 3 subsistemas (estrutura externa, filamento interno e conector SMA), os resultados serão apresentados separadamente e analisados e posteriormente discutidos também como um todo.

Tabela 3 – Tabela de resultados do filamento interno da Antena Wi-Fi (Cenário base).

Metodologia	Categoria de Impacto	Descrição	Antena Wifi	Indicador de medida
CML 2001	GWP	Potencial de aquecimento global	3,35E-02	kg CO2 eq.
	AP	Acidificação	2,05E-04	kg SO2 eq.
	EP	Eutrofização	9,44E-06	kg Phosphate eq.
	ODP	Depleção de ozônio	1,09E-13	kg R11 eq.
	TETP	Ecotoxicidade terrestre	1,30E-04	kg DCB eq.
	FAETP	Ecotoxicidade aquática (lagos e rios)	3,58E-04	kg DCB eq.
	MAETP	Ecotoxicidade aquática (mares e oceanos)	56,6	kg DCB eq.
	ADP elements	Depleção elementos energéticos	6,55E-06	kg Sb eq.
	ADP fossil	Depleção elementos energéticos fósseis	0,403	MJ
	HTP	Potencial de toxicidade humana	4,01E-02	kg DCB eq.
	POCP	Potencial de criação de ozônio fotoquímico	1,05E-05	kg Ethene eq.
	GWP, excl biogenic carbon	Potencial de aquecimento global, excluindo carbono biogênico	3,35E-02	kg CO2 eq.

Fonte: (próprio autor)

Referente ao cálculo de balanço produzido pelo filamento interno no cenário base, os seguintes componentes pertencentes ao mesmo e a antena foram utilizados para apuração:

- Espuma marcadora e sustentação a base de PU;
- Duas arruelas de latão;
- Capa protetora a base de PB ou borracha sintética;
- Filamento irradiador a base de cobre;
- Tubo de alumínio;
- Preenchimento dielétrico a base de téflon;
- Capa externa e interna a base de polietileno para proteção das malhas de alumínio;
- Duas malhas de alumínio trançadas em fio.

No gráfico da Figura 14, os dados apresentados na tabela foram reorganizados em comparação com a composição da antena como um todo, ou seja, uma normalização interna.

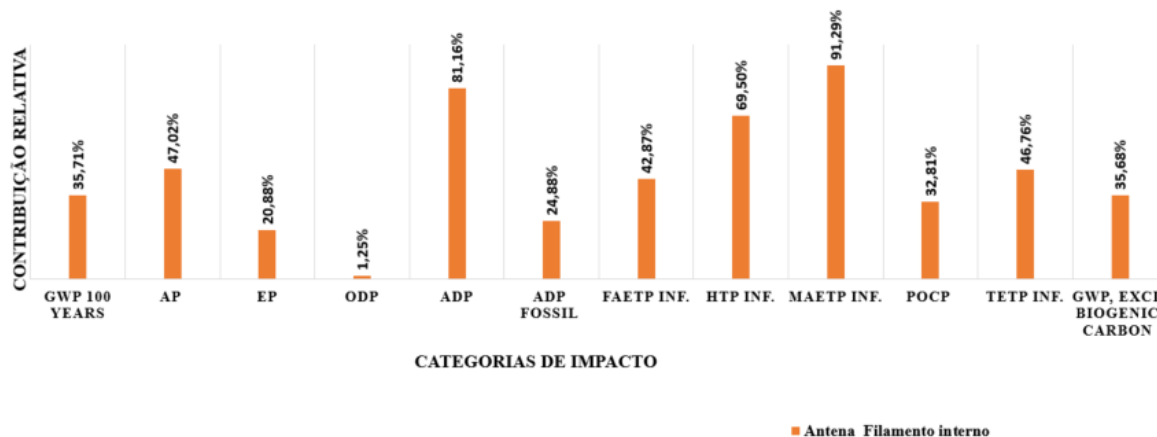


Figura 14 – Normalização interna referente ao filamento irradiador no cenário base.
Fonte: (próprio autor).

É importante lembrar que para todos os subprocessos, independente dos cenários a serem discutidos, os mesmos foram alimentados com a massa e energia correspondentes e necessárias para a construção do componente da antena. Para o filamento interno, é possível visualizar que a categoria MAETP despontou perante as outras e o GWP possui um valor muito abaixo em relação à antena como um todo. As massas e quantidades específicas de energia, bem como cada componente específico de cada subsistema podem ser encontrados nos apêndices A, B e C. Abaixo na Tabela 4 segue o cálculo de balanço referente a estrutura externa.

Tabela 4 – Tabela de resultados da estrutura externa da Antena Wi-Fi (Cenário base).

Metodologia	Categoria de Impacto	Descrição	Antena Wifi	Indicador de medida
CML 2001	GWP	Potencial de aquecimento global	5,59E-02	kg CO2 eq.
	AP	Acidificação	1,90E-04	kg SO2 eq.
	EP	Eutrofização	3,33E-05	kg Phosphate eq.
	ODP	Depleção de ozônio	8,60E-12	kg R11 eq.
	TETP	Ecotoxicidade terrestre	1,23E-04	kg DCB eq.
	FAETP	Ecotoxicidade aquática (lagos e rios)	4,02E-04	kg DCB eq.
	MAETP	Ecotoxicidade aquática (mares e oceanos)	3,44	kg DCB eq.
	ADP elements	Depleção elementos energéticos	2,00E-07	kg Sb eq.
	ADP fossil	Depleção elementos energéticos fósseis	1,18	MJ
	HTP	Potencial de toxicidade humana	1,44E-02	kg DCB eq.
	POCP	Potencial de criação de ozônio fotoquímico	1,96E-05	kg Ethene eq.
	GWP, excl biogenic carbon	Potencial de aquecimento global, excluindo carbono biogênico	5,60E-02	kg CO2 eq.

Fonte: (próprio autor)

Em relação a estrutura externa, sua composição no cenário base é feita basicamente de três polímeros, sendo dois deles que formam uma mistura específica para fornecer certas propriedades mecânicas ao produto. A maior parte da estrutura é feita a base de termoplástico poliuretano (TPU), um material rígido, porém maleável. O restante do radome, é fabricado a partir da mistura policarbonato acrilonitrilo butadieno estireno (PC +ABS), oferecendo uma estrutura rígida o suficiente para aguentar impactos ao produto e proteção aos componentes internos. Abaixo, no gráfico da Figura 15, segue a normalização interna perante a estrutura total da antena analisada.

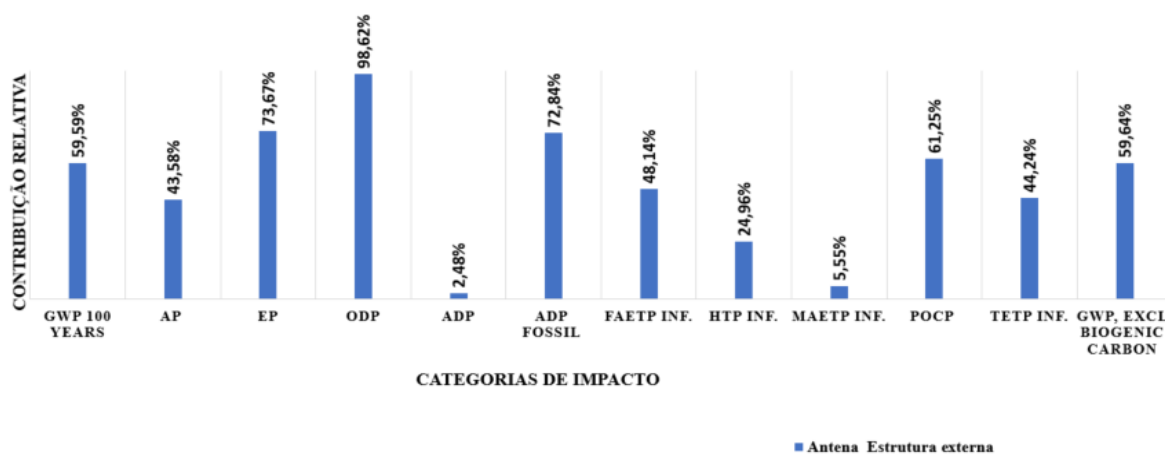


Figura 15 – Normalização interna referente a estrutura externa no cenário base.

Fonte: (próprio autor).

Como visto acima, a categoria de potencial de aquecimento global referente a estrutura externa foi bem maior referente a mesma categoria para o filamento interno. Essa característica será trabalhada no cenário 1, com a substituição dos polímeros do cenário base por outros que desempenhem a mesma função, porém que produzam menores impactos ambientais. Por fim, o terceiro subsistema a ser obtido os resultados separadamente, refere-se ao conector SMA, que em sua composição é formado pelos componentes parte externa e interna a base de latão, dielétrico interno feito por PTFE ou téflon, conector interno a base de bronze e borracha marcadora laranja feita de PB ou polibutadieno.

Tabela 5 – Tabela de resultados do conector SMA da Antena Wi-Fi (Cenário base).

Metodologia	Categoria de Impacto	Descrição	Antena Wifi	Indicador de medida
CML 2001	GWP	Potencial de aquecimento global	4,40E-03	kg CO2 eq.
	AP	Acidificação	4,10E-05	kg SO2 eq.
	EP	Eutrofização	2,46E-06	kg Phosphate eq.
	ODP	Depleção de ozônio	1,10E-14	kg R11 eq.
	TETP	Ecotoxicidade terrestre	2,50E-05	kg DCB eq.
	FAETP	Ecotoxicidade aquática (lagos e rios)	7,50E-05	kg DCB eq.
	MAETP	Ecotoxicidade aquática (mares e oceanos)	1,96E+00	kg DCB eq.
	ADP elements	Depleção elementos energéticos	1,32E-06	kg Sb eq.
	ADP fossil	Depleção elementos energéticos fósseis	3,70E-02	MJ
	HTP	Potencial de toxicidade humana	3,20E-03	kg DCB eq.
	POCP	Potencial de criação de ozônio fotoquímico	1,90E-06	kg Ethene eq.
	GWP, excl biogenic carbon	Potencial de aquecimento global, excluindo carbono biogênico	4,40E-03	kg CO2 eq.

Fonte: (próprio autor)

Assim como para os outros subsistemas, abaixo na Figura 16 seguem as porcentagens referente a normalização interna do subsistema conector SMA.

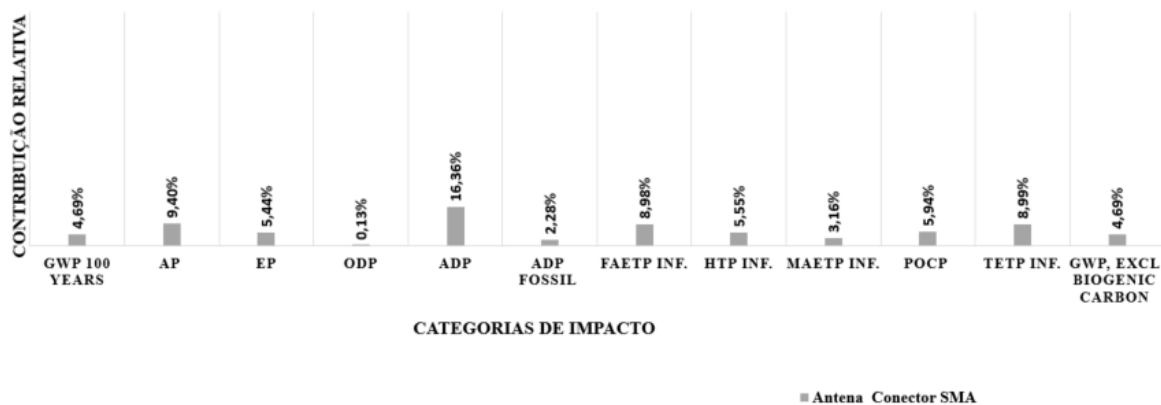


Figura 16 – Normalização interna referente ao conector SMA no cenário base.

Fonte: (próprio autor).

Em dados comparativos referentes aos três subsistemas do cenário base plotados no *software* GaBi Professional, o gráfico da Figura 17 foi criado para melhor entendimento e observação comparativa entre as partes.

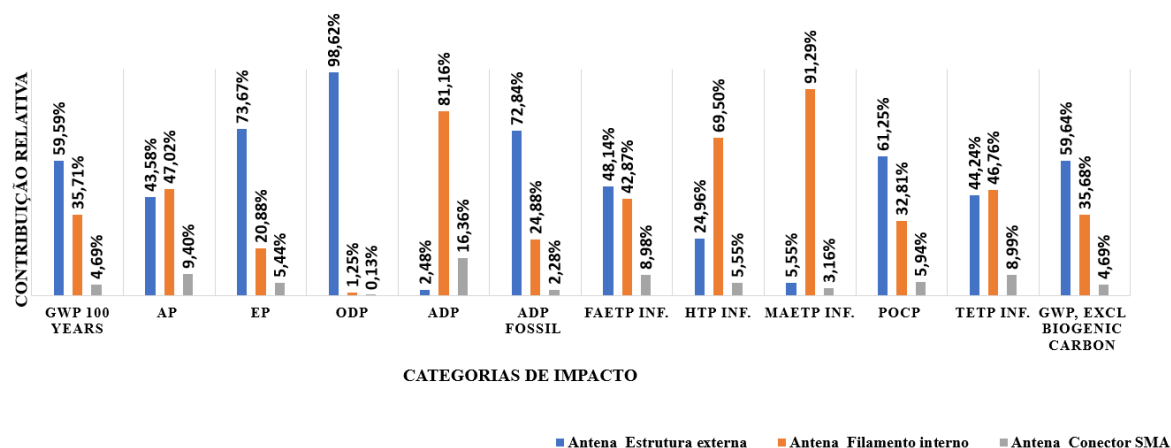


Figura 17 – Gráfico comparativo, normalização interna subsistemas do cenário base.
Fonte: (próprio autor)

Em complemento ao gráfico comparativo visto na Figura 17, foi realizado também o cálculo referente ao balanço total da antena. O intuito dessa análise, é confrontar que nenhum dado foi retirado, perdido ou esquecido de ser avaliado, comprovando assim a eficiência matemática. Dessa forma, a soma dos impactos causados separadamente por cada subsistema (filamento interno, estrutura externa e conector SMA) deve ser equivalente aos valores fornecidos pelo software GaBi para apuração da antena em sua totalidade. Os dados em questão encontram-se na Tabela 6.

Tabela 6 – Resultados totais para categorias de impacto referente a Antena Wi-Fi.

Metodologia	Categoria de Impacto	Descrição	Antena Wifi	Indicador de medida
CML 2001	GWP	Potencial de aquecimento global	9,38E-02	kg CO2 eq.
	AP	Acidificação	4,36E-04	kg SO2 eq.
	EP	Eutrofização	4,52E-05	kg Phosphate eq.
	ODP	Depleção de ozônio	8,72E-12	kg R11 eq.
	TETP	Ecotoxicidade terrestre	2,78E-04	kg DCB eq.
	FAETP	Ecotoxicidade aquática (lagos e rios)	8,35E-04	kg DCB eq.
	MAETP	Ecotoxicidade aquática (mares e oceanos)	62	kg DCB eq.
	ADP elements	Depleção elementos energéticos	8,07E-06	kg Sb eq.
	ADP fossil	Depleção elementos energéticos fósseis	1,62	MJ
	HTP	Potencial de toxicidade humana	5,77E-02	kg DCB eq.
	POCP	Potencial de criação de ozônio fotoquímico	3,20E-05	kg Ethene eq.
	GWP, excl biogenic carbon	Potencial de aquecimento global, excluindo carbono biogênico	9,39E-02	kg CO2 eq.

Fonte: (próprio autor)

Analisando separadamente as tabelas e gráficos referentes a cada subsistema e confrontando com o gráfico da Figura 17 e Tabela 6, representativo dos impactos totais da produção de uma unidade de Antena Wi-Fi, pode-se concluir parcialmente que o subsistema conector SMA impacta de forma bem irrisória em comparativo aos demais subsistemas. Sendo assim, pode-se virar o foco para os subsistemas estrutura externa e filamento interno irradiador.

O primeiro, em relação ao cenário base expõe dominância nas porcentagens de 7 categorias pertencentes a metodologia CML 2001, sendo elas: GWP, EP, ODP, ADP fóssil, FAETP, POCP e GWP excluindo carbono biogênico. Dessa forma, para o cenário base é o subsistema mais poluente, abrindo assim a possibilidade de geração de cenários para melhoria.

Por se tratar de um subsistema predominantemente composto por polímeros, uma alternativa seria a substituição desses materiais por algo menos nocivo, como um bio-polímero. Para o cenário 1, conforme estudos apontados na sessão Revisão Bibliográfica, um dos princípios do Ecodesign é a substituição de material por outro menos nocivo, portanto, para o primeiro cenário alternativo em questão foi escolhido o HDPE (*High Density Polyethylene*) ou polietileno de alta densidade.

Em relação ao subsistema filamento interno irradiador, o mesmo apresenta relevância nas porcentagens em 4 categorias de impacto, sendo elas: AP, ADP elements, HTP e TETP. Assim como a estrutura externa abriu possibilidade de geração de cenário de melhoria, o filamento interno também abre a mesma possibilidade.

O subsistema em questão é predominantemente composto por metais, sendo assim há a mesma possibilidade de substituir algum material em específico por um bio-metal ou metal de menor impacto ambiental. Porém, essa área da antena é responsável por irradiar os sinais o que acaba por gerar um cenário de cautela. Dependendo do material a ser substituído, o desempenho técnico do produto pode aumentar ou diminuir.

No setor de telecomunicações, dois metais são os mais utilizados como materiais irradiadores sendo eles, o cobre e o alumínio. A alternativa para o segundo cenário alternativo, seria a substituição do filamento de bobina de cobre por outro semelhante e de mesma massa composto por alumínio. Dessa forma, na próxima sessão serão apresentados resultados a respeito dos cenários alternativos de melhoria contínua sugeridos até o presente momento e outros que serão abordados para a estrutura externa e filamento interno, por possuírem características semelhantes aos materiais analisados até esse ponto.

5 CENÁRIOS DE ECODESIGN

5.1 CENÁRIO 1 – FILAMENTO IRRADIADOR E BOBINA A BASE DE ALUMÍNIO

Como discutido anteriormente na Seção 4, a análise dos dados obtidos levou a considerações de que os subsistemas filamento irradiador e estrutura externa possam passar por processos de melhoria contínua em determinados componentes e seus materiais. Dessa forma, com base em critérios estabelecidos que serão discutidos posteriormente, serão levantados 4 cenários para cada subsistema, a fim de selecionar os melhores em relação a seus impactos ambientais gerados. Os melhores cenários serão premissas para um cenário de melhoramento ambiental ou Ecodesign.

A começar pelo subsistema filamento irradiador composto pelo material cobre, deve-se levar em consideração na seleção dos materiais a substituírem o cobre dos requisitos de extrema importância: custo de mercado e a condutividade do metal. Não há motivos para escolher um material de condutividade próxima a do cobre ($\sigma = 5,98 \times 10^7$ S/m) se o seu custo de mercado for extremamente elevado, a exemplo tem-se o ouro ($\sigma = 4,52 \times 10^7$ S/m) e a prata ($\sigma = 6,30 \times 10^7$ S/m). Por mais que esses materiais possuam alto valor, ainda sim são encontrados em componentes eletrônicos, porém em quantidades irrisórias comparadas ao todo do produto. Para este caso, a massa do filamento é maior e mais relevante tornando-se inviável a utilização de metais nobres tendo a vista a quantidade de antenas produzidas diariamente.

Sendo assim, materiais comumente utilizados como alumínio ($\sigma = 3,50 \times 10^7$ S/m), zinco ($\sigma = 1,68 \times 10^7$ S/m) e aço ($\sigma = 6,21 \times 10^6$ S/m) passam a ser excelentes candidatos a serem analisados nessa etapa devido ao baixo valor de custo. É importante mencionar, que um dos objetivos dessa substituição de materiais é o melhoramento do desempenho ambiental sem comprometer o desempenho técnico do produto, por isso quanto mais próximo das propriedades do cenário base, maiores chances do objetivo ser alcançado. Para o primeiro cenário, o material alumínio foi designado devido à proximidade de uso com o cobre como elemento condutor em produtos elétricos e eletrônicos.

Para isto, por meio da ACV, foram gerados cenários com foco apenas nos subsistemas mais impactantes (filamento irradiador e estrutura externa), excluindo o subsistema conector SMA durante essa etapa pois o mesmo como mencionado anteriormente, apresentava os menores valores de impactos ambientais gerados para o produto. Sendo assim, na Tabela 7

encontram-se os dados obtidos após simulação para o filamento irradiador e bobina a base de Alumínio.

Tabela 7 – Resultados para categorias de impacto: cenário filamento irradiador de Alumínio.

Metodologia	Categoria de Impacto	Descrição	Antena Wifi	Indicador de medida
CML 2001	GWP	Potencial de aquecimento global	3,11E-02	kg CO2 eq.
	AP	Acidificação	1,49E-04	kg SO2 eq.
	EP	Eutrofização	8,96E-06	kg Phosphate eq.
	ODP	Depleção de ozônio	4,62E-14	kg R11 eq.
	TETP	Ecotoxicidade terrestre	9,21E-05	kg DCB eq.
	FAETP	Ecotoxicidade aquática (lagos e rios)	2,29E-04	kg DCB eq.
	MAETP	Ecotoxicidade aquática (mares e oceanos)	6,10E+01	kg DCB eq.
	ADP elements	Depleção elementos energéticos	1,20E-06	kg Sb eq.
	ADP fossil	Depleção elementos energéticos fósseis	3,70E-01	MJ
	HTP	Potencial de toxicidade humana	5,00E-02	kg DCB eq.
	POCP	Potencial de criação de ozônio fotoquímico	8,14E-06	kg Ethene eq.
	GWP, excl biogenic carbon	Potencial de aquecimento global, excluindo carbono biogênico	3,11E-02	kg CO2 eq.

Fonte: (próprio autor)

Pode-se destacar, num primeiro momento a categoria GWP para o cenário observado, onde o mesmo está produzindo 31,1 gramas de CO₂ equivalentes apenas para o subsistema filamento irradiador e bobina a base de alumínio, o que já acarreta um cenário de melhoria em comparação ao cenário inicial a base de cobre, onde a mesma categoria produzia em média 33,5 gramas de CO₂ equivalentes. Porém, há mais três cenários de melhoria a serem comparados impossibilitando quaisquer afirmações conclusivas até o presente momento.

Ademais, apenas os dados brutos não serão suficientes a serem analisados com intuito de identificar os melhores cenários de Ecodesign. Para isto, será necessário a realização de normalizações externas entre as categorias de impacto de cada cenário. O software GaBi, fornece parâmetros externos globais que possibilitam os cálculos de normalização entre as categorias encontrados na Figura 18, realizado da seguinte forma:

- Valores práticos obtidos da ACV;
- Fatores de equivalência fornecidos pela base de dados do GaBi software;
- Normalização é o resultado entre os valores práticos divididos pelos fatores de equivalência.

CML2001 - Aug. 2016, World, year 2000, excl biogenic carbon (global equivalents) [CML 2001 - Aug. 2016] -- BD Normalização

Objeto Editar Visualização Ajuda

Nome IL2001 - Aug. 2016, World, year 2000, excl biogenic carbon (global equivalents)

Quantidade	Equivalências	Unidade	Desvio padrão	Fator
CML2001 - Aug. 2016, Abiotic Depletion (ADP elements)	3,61E008	kg Sb eq.	0 %	2,77E-009
CML2001 - Aug. 2016, Abiotic Depletion (ADP fossil)	3,8E014	MJ	0 %	2,63E-015
CML2001 - Aug. 2016, Acidification Potential (AP)	2,39E011	kg SO2 eq.	0 %	4,18E-012
CML2001 - Aug. 2016, Eutrophication Potential (EP)	1,58E011	kg Phosphate eq.	0 %	6,33E-012
CML2001 - Aug. 2016, Freshwater Aquatic Ecotoxicity Pot. (FAETP inf.)	2,36E012	kg DCB eq.	0 %	4,24E-013
CML2001 - Aug. 2016, Global Warming Potential (GWP 100 years), excl biogenic carbon	4,22E013	kg CO2 eq.	0 %	2,37E-014
CML2001 - Aug. 2016, Human Toxicity Potential (HTP inf.)	2,58E012	kg DCB eq.	0 %	3,88E-013
CML2001 - Aug. 2016, Marine Aquatic Ecotoxicity Pot. (MAETP inf.)	1,95E014	kg DCB eq.	0 %	5,13E-015
CML2001 - Aug. 2016, Ozone Layer Depletion Potential (ODP, steady state)	2,27E008	kg R11 eq.	0 %	4,41E-009
CML2001 - Aug. 2016, Photochem. Ozone Creation Potential (POCP)	3,68E010	kg Ethene eq.	0 %	2,72E-011
CML2001 - Aug. 2016, Terrestrial Ecotoxicity Potential (TETP inf.)	1,09E012	kg DCB eq.	0 %	9,17E-013

Figura 18 – Fatores de normalização e equivalência fornecidos pelo GaBi software.
Fonte: (adaptado de GaBi software, 2023)

Com as explicações a respeito dos cálculos de normalização externa, os dados abaixo encontram-se numa mesma unidade de medida para que possam ser comparados com os outros cenários a serem discutidos. Na Tabela 8, os dados brutos (segunda coluna) para o filamento irradiador e bobina a base de alumínio, passam pelo processo de normalização externa e são apresentados abaixo (quinta coluna):

Tabela 8 – Normalização externa para categorias de impacto: cenário filamento irradiador e bobina de Alumínio.

Categoria de Impacto	Valores fornecidos pela ACV (Prático)	Unidades	Valores fornecidos GABI CML 2001, World, ano 2000, excl biogenic carbon (Teórico)	Normalização	Equivalências
ADP Elements	1,2000E-06	kg Sb eq.	2,77E-09	3,3241E-15	3,61E+08
ADP Fossil	3,70E-01	MJ	2,63E-15	9,7368E-16	3,80E+14
AP	1,49E-04	kg SO2 eq.	4,18E-12	6,2343E-16	2,39E+11
EP	8,96E-06	kg Phosphate eq.	6,33E-12	5,6709E-17	1,58E+11
FAETP inf.	2,29E-04	kg DCB eq.	4,24E-13	9,7034E-17	2,36E+12
GWP 100 years	3,11E-02	kg CO2 eq.	2,37E-14	7,3697E-16	4,22E+13
GWP 100 years excl biogenic	3,11E-02	kg CO2 eq.	2,37E-14	7,3697E-16	4,22E+13
HTP inf.	5,00E-02	kg DCB eq.	3,88E-13	1,9380E-14	2,58E+12
MAETP inf.	6,10E+01	kg DCB eq.	5,13E-15	3,1282E-13	1,95E+14
ODP, steady state	4,62E-14	kg R11 eq.	4,41E-09	2,0352E-22	2,27E+08
POCP	8,14E-06	kg Ethene eq.	2,72E-11	2,2120E-16	3,68E+10
TETP inf.	9,21E-05	kg DCB eq.	9,17E-13	8,4495E-17	1,09E+12

Fonte: (próprio autor)

Pode-se destacar também na tabela acima a quarta coluna composta pelos valores teóricos fornecidos pelo GaBi software, no qual esses valores são uma base para que os valores normalizados não fiquem distantes dos considerados aceitáveis para uma análise. Porém vale mencionar que cada ACV possui sua particularidade e os valores teóricos são meros comparativos para uma análise não se distanciar ou mudar o foco do projeto.

5.2 CENÁRIO 2 – FILAMENTO IRRADIADOR E BOBINA A BASE DE ZINCO

O segundo material a ser analisado como cenário alternativo é o Zinco, um metal amplamente utilizado na produção de ligas metálicas tais como latão e bronze e no processo de galvanização de ferro e aço, oferecendo maior resistência a esses materiais diante da corrosão. Porém, suas principais aplicações encontram-se na fabricação de telhas impermeabilizantes para construção civil e no setor eletroeletrônico em pilhas e baterias.

Para a aplicação requisitada no projeto, o Zinco é pouco utilizado como um material irradiador, porém a análise até o presente momento tem como objetivo destacar o desempenho ambiental do novo material em comparação ao cenário base. Vale mencionar, como dito anteriormente que a condutividade do material Zinco ($\sigma = 1,68 \times 10^7$ S/m) se aproxima a do Cobre ($\sigma = 5,98 \times 10^7$ S/m) sendo também metais não nobres e de baixo custo. Dessa forma, a análise dos impactos gerados pelo Zinco, podem ser visualizados na Tabela 9 abaixo.

Tabela 9 – Resultados para categorias de impacto: cenário filamento irradiador de Zinco.

Metodologia	Categoria de Impacto	Descrição	Antena Wifi	Indicador de medida
CML 2001	GWP	Potencial de aquecimento global	2,48E-02	kg CO2 eq.
	AP	Acidificação	1,23E-04	kg SO2 eq.
	EP	Eutrofização	8,29E-06	kg Phosphate eq.
	ODP	Depleção de ozônio	3,79E-14	kg R11 eq.
	TETP	Ecotoxicidade terrestre	1,20E-04	kg DCB eq.
	FAETP	Ecotoxicidade aquática (lagos e rios)	2,03E-04	kg DCB eq.
	MAETP	Ecotoxicidade aquática (mares e oceanos)	3,44E+01	kg DCB eq.
	ADP elements	Depleção elementos energéticos	3,02E-06	kg Sb eq.
	ADP fossil	Depleção elementos energéticos fósseis	2,97E-01	MJ
	HTP	Potencial de toxicidade humana	2,88E-02	kg DCB eq.
	POCP	Potencial de criação de ozônio fotoquímico	6,65E-06	kg Ethene eq.
	GWP, excl biogenic carbon	Potencial de aquecimento global, excluindo carbono biogênico	2,48E-02	kg CO2 eq.

Fonte: (próprio autor)

Assim como no cenário a base de Alumínio, para o Zinco a categoria GWP novamente apresentou diminuição na quantidade de CO₂ equivalentes, sendo 24,8 gramas emitidas para a fabricação do subsistema filamento irradiador em composição do respectivo material. Novamente, apenas a análise dos dados brutos não é suficiente e a normalização externa é necessária para fins comparativos futuros. Para isto, na Tabela 10 abaixo encontram-se os dados normalizados externamente conforme a base de informações do GaBi software.

Tabela 10 – Normalização externa para categorias de impacto: cenário filamento irradiador e bobina de Zinco.

Categoria de Impacto	Valores fornecidos pela ACV (Prático)	Unidades	Valores fornecidos GABI CML 2001, World, ano 2000, excl biogenic carbon (Teórico)	Normalização	Equivalencias
ADP Elements	3,0200E-06	kg Sb eq.	2,77E-09	8,3657E-15	3,61E+08
ADP Fossil	2,97E-01	MJ	2,63E-15	7,8158E-16	3,80E+14
AP	1,23E-04	kg SO2 eq.	4,18E-12	5,1464E-16	2,39E+11
EP	8,29E-06	kg Phosphate eq.	6,33E-12	5,2468E-17	1,58E+11
FAETP inf.	2,03E-04	kg DCB eq.	4,24E-13	8,6017E-17	2,36E+12
GWP 100 years	2,48E-02	kg CO2 eq.	2,37E-14	5,8768E-16	4,22E+13
GWP 100 years excl biogenic	2,48E-02	kg CO2 eq.	2,37E-14	5,8768E-16	4,22E+13
HTP inf.	2,88E-02	kg DCB eq.	3,88E-13	1,1163E-14	2,58E+12
MAETP inf.	3,44E+01	kg DCB eq.	5,13E-15	1,7641E-13	1,95E+14
ODP, steady state	3,79E-14	kg R11 eq.	4,41E-09	1,6696E-22	2,27E+08
POCP	6,65E-06	kg Ethene eq.	2,72E-11	1,8071E-16	3,68E+10
TETP inf.	1,20E-04	kg DCB eq.	9,17E-13	1,1009E-16	1,09E+12

Fonte: (próprio autor)

5.3 CENÁRIOS 3 E 4 – FILAMENTO IRRADIADOR E BOBINA A BASE DE AÇO CARBONO E AÇO INOXIDÁVEL 304

Por fim, para complementar e seguir com a análise comparativa entre os cenários para o filamento irradiador, tem-se dois tipos de aços que foram gerados no GaBi software em conjunto por se tratarem do mesmo material, o aço carbono e o aço inoxidável 304. Ambas as classificações de aço possuem em sua composição materiais como Ferro e Carbono, sendo diferenciados pelas quantidades utilizadas que determinam suas particularidades para trabalho.

O Aço carbono apresenta um baixo custo quando comparado ao Aço 304, devido a menor resistência a corrosão e vida útil. Tendo em vista um custo baixo para ser processado, é, portanto, utilizado em maior escala no mercado. Por outro lado, o Aço 304 possui elevada resistência a corrosão e resistência mecânica, alta durabilidade, ductibilidade e conformabilidade além de ser cem por cento um material reciclável.

Em termos de plotagem das informações dos respectivos materiais no software, ambos podem ser encontrados cada qual com suas características. Porém, por serem tipos de aços distintos, cenários separados foram gerados a fim de confrontar suas qualidades no campo ambiental entre si e com os demais cenários para o subsistema filamento irradiador. Sendo assim, na Tabela 11 abaixo encontram-se os resultados obtidos para o cenário pertencente ao Aço carbono e na Tabela 12, os resultados gerados para o Aço inoxidável 304.

Tabela 11 – Resultados para categorias de impacto: cenário filamento irradiador de Aço carbono.

Metodologia	Categoria de Impacto	Descrição	Antena Wifi	Indicador de medida
CML 2001	GWP	Potencial de aquecimento global	2,24E-02	kg CO2 eq.
	AP	Acidificação	1,03E-04	kg SO2 eq.
	EP	Eutrofização	6,31E-06	kg Phosphate eq.
	ODP	Depleção de ozônio	3,65E-14	kg R11 eq.
	TETP	Ecotoxicidade terrestre	6,29E-05	kg DCB eq.
	FAETP	Ecotoxicidade aquática (lagos e rios)	1,60E-04	kg DCB eq.
	MAETP	Ecotoxicidade aquática (mares e oceanos)	3,32E+01	kg DCB eq.
	ADP elements	Depleção elementos energéticos	1,20E-06	kg Sb eq.
	ADP fossil	Depleção elementos energéticos fósseis	2,78E-01	MJ
	HTP	Potencial de toxicidade humana	2,81E-02	kg DCB eq.
	POCP	Potencial de criação de ozônio fotoquímico	6,52E-06	kg Ethene eq.
	GWP, excl biogenic carbon	Potencial de aquecimento global, excluindo carbono biogênico	2,24E-02	kg CO2 eq.

Fonte: (próprio autor)

Tabela 12 – Resultados para categorias de impacto: cenário filamento irradiador de Aço inoxidável 304.

Metodologia	Categoria de Impacto	Descrição	Antena Wifi	Indicador de medida
CML 2001	GWP	Potencial de aquecimento global	2,39E-02	kg CO2 eq.
	AP	Acidificação	1,25E-04	kg SO2 eq.
	EP	Eutrofização	7,48E-06	kg Phosphate eq.
	ODP	Depleção de ozônio	3,65E-14	kg R11 eq.
	TETP	Ecotoxicidade terrestre	1,08E-04	kg DCB eq.
	FAETP	Ecotoxicidade aquática (lagos e rios)	3,74E-04	kg DCB eq.
	MAETP	Ecotoxicidade aquática (mares e oceanos)	3,48E+01	kg DCB eq.
	ADP elements	Depleção elementos energéticos	1,29E-06	kg Sb eq.
	ADP fossil	Depleção elementos energéticos fósseis	3,01E-01	MJ
	HTP	Potencial de toxicidade humana	6,81E-02	kg DCB eq.
	POCP	Potencial de criação de ozônio fotoquímico	6,77E-06	kg Ethene eq.
	GWP, excl biogenic carbon	Potencial de aquecimento global, excluindo carbono biogênico	2,39E-02	kg CO2 eq.

Fonte: (próprio autor)

Analisando comparativamente as Tabelas 11 e 12, e retirando primeiras observações a exemplo da categoria GWP, é visto que o Aço carbono apresentou melhores resultados em relação ao Aço inoxidável 304. O primeiro, para ser produzido geraria o equivalente a 22,4 gramas de CO₂ emitidos ao ambiente, em comparação com o segundo tipo de aço analisado, o mesmo geraria 23,9 gramas de CO₂ equivalentes. Uma justificativa para essa diferença deve-se ao fato do Aço inoxidável 304 apresentar em sua liga uma maior variação de materiais diferentes em quantidades distintas do Aço carbono, que mesmo não sendo um material puro em comparativo ao Aço inox, apresenta quantidades menores em sua composição.

Assim como para os outros cenários, as tabelas de normalização externa para o Aço carbono e o Aço inoxidável 304 foram geradas onde serão comparadas no próximo tópico com os outros metais analisados até o presente momento. Respectivamente nas Tabelas 13 e 14 encontram-se os impactos ambientais normalizados externamente para os cenários do Aço carbono e Aço inoxidável 304. É perceptível que tanto os dados gerados pelo software GaBi, quanto os dados normalizados externamente para os dois tipos de Aço se aproximam em suas magnitudes. Essa percepção será profundamente analisada posteriormente.

Tabela 13 – Normalização externa para categorias de impacto: cenário filamento irradiador e bobina de Aço carbono.

Categoria de Impacto	Valores fornecidos pela ACV (Prático)	Unidades	Valores fornecidos GABI CML 2001, World, ano 2000, excl biogenic carbon (Teórico)	Normalização	Equivalencias
ADP Elements	1,2000E-06	kg Sb eq.	2,77E-09	3,3241E-15	3,61E+08
ADP Fossil	2,78E-01	MJ	2,63E-15	7,3158E-16	3,80E+14
AP	1,03E-04	kg SO2 eq.	4,18E-12	4,3096E-16	2,39E+11
EP	6,31E-06	kg Phosphate eq.	6,33E-12	3,9937E-17	1,58E+11
FAETP inf.	1,60E-04	kg DCB eq.	4,24E-13	6,7797E-17	2,36E+12
GWP 100 years	2,24E-02	kg CO2 eq.	2,37E-14	5,3081E-16	4,22E+13
GWP 100 years excl biogenic	2,24E-02	kg CO2 eq.	2,37E-14	5,3081E-16	4,22E+13
HTP inf.	2,81E-02	kg DCB eq.	3,88E-13	1,0891E-14	2,58E+12
MAETP inf.	3,32E+01	kg DCB eq.	5,13E-15	1,7026E-13	1,95E+14
ODP, steady state	3,65E-14	kg R11 eq.	4,41E-09	1,6079E-22	2,27E+08
POCP	6,52E-06	kg Ethene eq.	2,72E-11	1,7717E-16	3,68E+10
TETP inf.	6,29E-05	kg DCB eq.	9,17E-13	5,7706E-17	1,09E+12

Fonte: (próprio autor)

Tabela 14 – Normalização externa para categorias de impacto: cenário filamento irradiador e bobina de Aço inoxidável 304.

Categoria de Impacto	Valores fornecidos pela ACV (Prático)	Unidades	Valores fornecidos GABI CML 2001, World, ano 2000, excl biogenic carbon (Teórico)	Normalização	Equivalencias
ADP Elements	1,2900E-06	kg Sb eq.	2,77E-09	3,5734E-15	3,61E+08
ADP Fossil	3,01E-01	MJ	2,63E-15	7,9211E-16	3,80E+14
AP	1,25E-04	kg SO2 eq.	4,18E-12	5,2301E-16	2,39E+11
EP	7,48E-06	kg Phosphate eq.	6,33E-12	4,7342E-17	1,58E+11
FAETP inf.	3,74E-04	kg DCB eq.	4,24E-13	1,5847E-16	2,36E+12
GWP 100 years	2,39E-02	kg CO2 eq.	2,37E-14	5,6635E-16	4,22E+13
GWP 100 years excl biogenic	2,39E-02	kg CO2 eq.	2,37E-14	5,6635E-16	4,22E+13
HTP inf.	6,81E-02	kg DCB eq.	3,88E-13	2,6395E-14	2,58E+12
MAETP inf.	3,48E+01	kg DCB eq.	5,13E-15	1,7846E-13	1,95E+14
ODP, steady state	3,65E-14	kg R11 eq.	4,41E-09	1,6079E-22	2,27E+08
POCP	6,77E-06	kg Ethene eq.	2,72E-11	1,8397E-16	3,68E+10
TETP inf.	1,08E-04	kg DCB eq.	9,17E-13	9,9083E-17	1,09E+12

Fonte: (próprio autor)

5.4 CENÁRIO COMPARATIVO – SUBSISTEMA FILAMENTO IRRADIADOR E BOBINA

Nesse momento, para o subsistema filamento irradiador e bobina tem-se além do cenário base composto pelo material Cobre, outros quatro cenários (Alumínio, Zinco, Aço carbono e Aço inoxidável 304) gerados conforme a base de dados do software GaBi. Até nesse ponto, levantamentos de informações específicas de cada material substituto e seus impactos foram mostrados de forma sucinta, e nesse sentido cada um contribuiu com uma certa melhoria, porém, para haver um cenário de Ecodesign, todos devem ser avaliados comparativamente para serem destacados os melhores. Para os cinco tipos de metais estudados, cada qual com suas particularidades e aplicações na indústria, pode-se lembrar que dois requisitos foram fundamentais para a escolha dos materiais: condutividade e custo de mercado.

Para isto, nesse tópico as tabelas com dados gerados pelo software e também normalizados externamente, serão analisados de forma conjunta para essa identificação. Para um melhor entendimento, na Tabela 15 encontram-se os resultados gerados pela ACV para cenário base e seus quatro cenários de melhoria estrutural para o filamento irradiador e bobina. Vale mencionar que esses dados não estão normalizados externamente, e serão analisados em conjuntos com os mesmos para a conclusão dos melhores cenários de Ecodesign.

Tabela 15 – Resultados comparativos de impactos ambientais para os cenários do Filamento irradiador e bobina.

Metodologia	Categoria de Impacto	Descrição	Cenário Base (Copper Coil)	Cenário 1 (Aluminium Coil)	Cenário 2 (Zinc Coil)	Cenário 3 (Steel Coil)	Cenário 4 (Steel Coil 304)	Indicador de medida
CML 2001	GWP	Potencial de aquecimento global	2,46E-02	3,11E-02	2,48E-02	2,24E-02	2,39E-02	kg CO2 eq.
	AP	Acidificação	1,85E-04	1,49E-04	1,23E-04	1,03E-04	1,25E-04	kg SO2 eq.
	EP	Eutrofização	8,08E-06	8,96E-06	8,29E-06	6,31E-06	7,48E-06	kg Phosphate eq.
	ODP	Depleção de ozônio	5,84E-14	4,62E-14	3,79E-14	3,65E-14	3,65E-14	kg R11 eq.
	TETP	Ecotoxicidade terrestre	1,19E-04	9,21E-05	1,20E-04	6,29E-05	1,08E-04	kg DCB eq.
	FAETP	Ecotoxicidade aquática (lagos e rios)	3,37E-04	2,29E-04	2,03E-04	1,60E-04	3,74E-04	kg DCB eq.
	MAETP	Ecotoxicidade aquática (mares e oceanos)	3,70E+01	6,10E+01	3,44E+01	3,32E+01	3,48E+01	kg DCB eq.
	ADP elements	Depleção elementos energéticos	5,66E-06	1,20E-06	3,02E-06	1,20E-06	1,29E-06	kg Sb eq.
	ADP fossil	Depleção elementos energéticos fósseis	2,96E-01	3,70E-01	2,97E-01	2,78E-01	3,01E-01	MJ
	HTP	Potencial de toxicidade humana	3,85E-02	5,00E-02	2,88E-02	2,81E-02	6,81E-02	kg DCB eq.
CML 2001	POCP	Potencial de criação de ozônio fotoquímico	9,22E-06	8,14E-06	6,65E-06	6,52E-06	6,77E-06	kg Ethene eq.
	GWP, excl biogenic carbon	Potencial de aquecimento global, excluindo carbono biogênico	2,46E-02	3,11E-02	2,48E-02	2,24E-02	2,39E-02	kg CO2 eq.

Fonte: (próprio autor)

Tabela 16 – Resultados comparativos normalizados externamente de impactos ambientais para os cenários do Filamento irradiador e bobina.

Normalizações Externas					
Categorias de impacto	Copper Coil	Aluminium Coil	Zinc Coil	Steel Coil	Steel Coil (304)
ADP Elements	1,5679E-14	3,3241E-15	8,36565E-15	3,3241E-15	3,57341E-15
ADP Fossil	7,7895E-16	9,73684E-16	7,81579E-16	7,31579E-16	7,92105E-16
AP	7,7406E-16	6,23431E-16	5,14644E-16	4,30962E-16	5,23013E-16
EP	5,1139E-17	5,67089E-17	5,24684E-17	3,99367E-17	4,73418E-17
FAETP inf.	1,4280E-16	9,70339E-17	8,60169E-17	6,77966E-17	1,58475E-16
GWP 100 years	5,8294E-16	7,36967E-16	5,87678E-16	5,30806E-16	5,66351E-16
GWP 100 years excl biogenic	5,8294E-16	7,36967E-16	5,87678E-16	5,30806E-16	5,66351E-16
HTP inf.	1,4922E-14	1,93798E-14	1,11628E-14	1,08915E-14	2,63953E-14
MAETP inf.	1,8974E-13	3,12821E-13	1,7641E-13	1,70256E-13	1,78462E-13
ODP, steady state	2,5727E-22	2,03524E-22	1,6696E-22	1,60793E-22	1,60793E-22
POCP	2,5054E-16	2,21196E-16	1,80707E-16	1,77174E-16	1,83967E-16
TETP inf.	1,0917E-16	8,44954E-17	1,10092E-16	5,77064E-17	9,90826E-17

Fonte: (próprio autor)

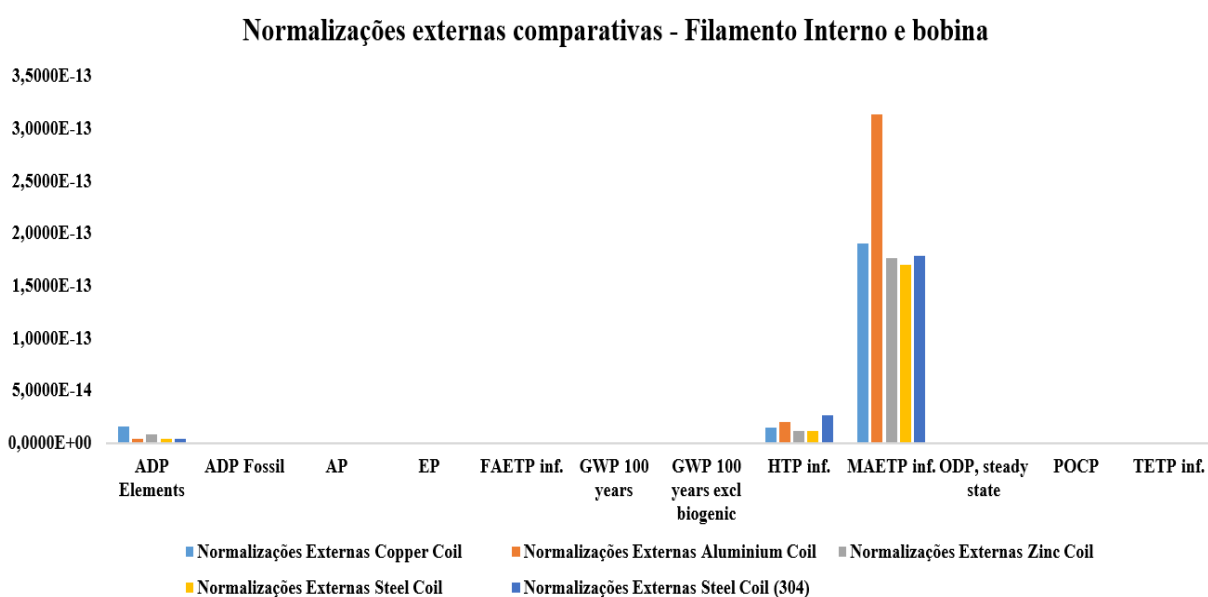


Figura 19 – Gráfico comparativo, normalizações externas para cenários: subsistema filamento interno irradiador e bobina.

Fonte: (próprio autor)

Com base nas informações contidas nas Tabelas 15 e 16 e no gráfico da Figura 23, algumas afirmações podem ser feitas de forma conclusiva a respeito dos melhores cenários para elaboração de um Ecodesign para o subsistema filamento irradiador e bobina.

A começar pela Tabela 15, a categoria GWP ou Potencial de Aquecimento Global para o cenário base (Cobre), sem vínculo algum com os outros subsistemas da Antena, ou seja, análise feita no GaBi software apenas com os componentes pertencentes ao filamento irradiador

e bobina, sem soldas ou conexões aos outros subsistemas, mostrou que para a produção do mesmo haveria emissão de 24,6 gramas de CO₂ equivalentes para o ambiente. Nesse aspecto, apenas dois cenários de melhorias acarretaram em mudanças positivas com a diminuição da categoria de impacto ambiental GWP, o Aço carbono e o Aço inoxidável 304 com 22,4 e 23,9 gramas de CO₂ equivalentes emitidos respectivamente.

Analisando a tabela 16 no contexto geral e aplicando a formulação mínima do Excel, todos os dados normalizados externamente tendem a destacar os valores para o cenário de Aço carbono como o menos impactante entre todos os cenários. Essa afirmação pode ser aceita uma vez que os dados se encontrem normalizados externamente, não possuirão unidades de medidas distintas, sendo assim podem ser comparados com os demais impactos e cenários diferentes.

Por fim e também de extrema importância, tem-se o gráfico presente na Figura 19. Esse gráfico, além concluir qual é o melhor cenário para o filamento irradiador no âmbito ambiental também permite entender o que são os valores teóricos fornecidos pelo GaBi software em sua base de dados, mencionados na Figura 18. Uma vez que os dados são normalizados externamente, podem ser comparados com valores teóricos oferecidos pelo software, porém, para a Figura 19 é possível visualizar que duas categorias estão mais ressaltadas que as demais para todos os cenários, MAETP e HTP. Nesse caso, conclui-se que essas categorias são mais impactantes que as demais, mesmo estando normalizadas para a faixa teórica que o GaBi software considera aceitável. Porém, é importante mencionar que cada ACV possui sua particularidade, distinguindo-se uma das outras.

Sendo assim, é possível utilizar essas categorias em destaque como mais um requisito a ser oferecido para a escolha do melhor cenário, e observando-se a Figura 19, para ambas as categorias de impacto MAETP e HTP, o cenário para o filamento irradiador e bobina com base em Aço carbono é o menos impactante que os demais, incluindo o cenário base (Cobre), gerando assim um cenário de melhoria continua ou Ecodesign para o determinado subsistema.

5.5 CENÁRIO 1 – ESTRUTURA EXTERNA A BASE DE HDPE

Assim como para o filamento irradiador e bobina, para a estrutura externa será repetido mesmo procedimento visto anteriormente. Para o primeiro cenário a ser estudado, tem-se a escolha do material HDPE, denominado Polímero de Alta Densidade, onde o mesmo possui uma alta relação resistência e densidade, dando-lhe forças superiores ao LDPE (baixa densidade). Outra característica, é que o material suporta grandes temperaturas e possui boa maleabilidade. Dentre algumas de suas aplicações estão os engradados, brinquedos, cordas,

embalagens e tubos flexíveis. Na Tabela 17, encontram-se os dados obtidos na geração do cenário de HDPE no software GaBi.

Tabela 17 – Resultados para categorias de impacto: cenário estrutura externa de HDPE.

Metodologia	Categoria de Impacto	Descrição	Antena Wifi	Indicador de medida
CML 2001	GWP	Potencial de aquecimento global	2,43E-02	kg CO2 eq.
	AP	Acidificação	4,08E-05	kg SO2 eq.
	EP	Eutrofização	5,76E-06	kg Phosphate eq.
	ODP	Depleção de ozônio	5,34E-14	kg R11 eq.
	TETP	Ecotoxicidade terrestre	7,39E-05	kg DCB eq.
	FAETP	Ecotoxicidade aquática (lagos e rios)	3,07E-04	kg DCB eq.
	MAETP	Ecotoxicidade aquática (mares e oceanos)	1,51E+00	kg DCB eq.
	ADP elements	Depleção elementos energéticos	5,34E-09	kg Sb eq.
	ADP fossil	Depleção elementos energéticos fósseis	9,28E-01	MJ
	HTP	Potencial de toxicidade humana	1,33E-03	kg DCB eq.
	POCP	Potencial de criação de ozônio fotoquímico	6,70E-06	kg Ethene eq.
	GWP, excl biogenic carbon	Potencial de aquecimento global, excluindo carbono biogênico	2,43E-02	kg CO2 eq.

Fonte: (próprio autor).

Em uma primeira análise superficial na Tabela 17, identifica-se uma importante melhoria comparada ao cenário base da estrutura externa composta por TPU e ABS+PC. Para a categoria GWP, o cenário base emite para o ambiente cerca de 55,9 gramas de CO₂ equivalentes, um valor bem alto para a emissão total da Antena Wi-Fi. Com o cenário alternativo de HDPE, a emissão diminuiu para 24,3 gramas CO₂ equivalentes, ou seja, uma diferença de 31,6 gramas entre os materiais utilizados.

Também para os cenários alternativos referentes a estrutura externa da Antena Wi-Fi, serão apresentados os dados normalizados externamente conforme os fatores de normalização oferecidos pelo GaBi software. Na Tabela 18, encontram-se os dados descritos acima para o cenário do material HDPE e que serão analisados comparativamente com os cenários posteriores a serem apresentados.

Tabela 18 – Normalização externa para categorias de impacto: cenário estrutura externa composta por HDPE.

Categoria de Impacto	Valores fornecidos pela ACV (Prático)	Unidades	Valores fornecidos GABI CML 2001, World, ano 2000, excl biogenic carbon (Teórico)	Normalização	Equivalências
ADP Elements	5,3400E-09	kg Sb eq.	2,77E-09	1,4792E-17	3,61E+08
ADP Fossil	9,28E-01	MJ	2,63E-15	2,4421E-15	3,80E+14
AP	4,08E-05	kg SO2 eq.	4,18E-12	1,7071E-16	2,39E+11
EP	5,76E-06	kg Phosphate eq.	6,33E-12	3,6456E-17	1,58E+11
FAETP inf.	3,07E-04	kg DCB eq.	4,24E-13	1,3008E-16	2,36E+12
GWP 100 years	2,43E-02	kg CO2 eq.	2,37E-14	5,7583E-16	4,22E+13
GWP 100 years excl biogenic	2,43E-02	kg CO2 eq.	2,37E-14	5,7583E-16	4,22E+13
HTP inf.	1,33E-03	kg DCB eq.	3,88E-13	5,1550E-16	2,58E+12
MAETP inf.	1,51E+00	kg DCB eq.	5,13E-15	7,7436E-15	1,95E+14
ODP, steady state	5,34E-14	kg R11 eq.	4,41E-09	2,3524E-22	2,27E+08
POCP	6,70E-06	kg Ethene eq.	2,72E-11	1,8207E-16	3,68E+10
TETP inf.	7,39E-05	kg DCB eq.	9,17E-13	6,7798E-17	1,09E+12

Fonte: (próprio autor)

5.6 CENÁRIO 2 – ESTRUTURA EXTERNA A BASE DE BIO-POLIMEROS (BIO-PVC, BIO-PET E BIO-PP)

Para o segundo cenário a ser estudado para a estrutura externa, será utilizado três bio-polímeros da classe *drop-in*, denominados assim por serem fabricados parcialmente ou de forma total de origem biológica, diferindo dos plásticos convencionais de origem do petróleo. Serão três cenários distintos, porém analisados em conjunto por serem materiais que apresentam mesmas características e aplicações.

Dessa forma, pensando no cenário nacional, sendo o Brasil um grande produtor de cana de açúcar, os bio-polímeros a serem analisados nessa seção foram inseridos no GaBi software como sendo produzidos de tal planta mencionada. Para tais cenários, serão estudados como materiais alternativos para a melhoria continua do produto, os denominados “plásticos verdes”, Bio-PVC, Bio-PET e Bio-PP.

Para ressaltar a escolha dos três materiais, pode-se mencionar suas características físicas como durabilidade e maleabilidade, que serão necessárias para a aplicação da estrutura externa da Antena Wi-Fi. Entre outras aplicações, pode-se destacar a utilização em embalagens, aparelhos eletrônicos, brinquedos, equipamentos médicos. Porém como desvantagem, os bio-polímeros não são biodegradáveis ao meio ambiente.

Sendo assim, prosseguindo com as análises na Tabela 19 encontram-se os dados gerados pelo GaBi software para o cenário de estrutura externa composto pelo polímero *drop-in* Bio-PVC. Como mencionado também, nas Tabelas 20 e 21 serão apresentados os resultados para

os materiais Bio-PET e Bio-PP, onde todos serão observados de forma comparativa devido a suas características e aplicações próximas.

Tabela 19 – Resultados para categorias de impacto: cenário estrutura externa de Bio-PVC.

Metodologia	Categoria de Impacto	Descrição	Antena Wifi	Indicador de medida
CML 2001	GWP	Potencial de aquecimento global	8,61E-03	kg CO2 eq.
	AP	Acidificação	2,53E-04	kg SO2 eq.
	EP	Eutrofização	2,59E-04	kg Phosphate eq.
	ODP	Depleção de ozônio	2,57E-12	kg R11 eq.
	TETP	Ecotoxicidade terrestre	3,58E-05	kg DCB eq.
	FAETP	Ecotoxicidade aquática (lagos e rios)	2,99E-04	kg DCB eq.
	MAETP	Ecotoxicidade aquática (mares e oceanos)	-12,4	kg DCB eq.
	ADP elements	Depleção elementos energéticos	1,24E-07	kg Sb eq.
	ADP fossil	Depleção elementos energéticos fósseis	0,292	MJ
	HTP	Potencial de toxicidade humana	1,06E-02	kg DCB eq.
	POCP	Potencial de criação de ozônio fotoquímico	2,37E-05	kg Ethene eq.
	GWP, excl biogenic carbon	Potencial de aquecimento global, excluindo carbono biogênico	2,78E-02	kg CO2 eq.

Fonte: (próprio autor)

Destacando apenas a Tabela 19 nesse primeiro momento e direcionando para a categoria GWP, cerca de 8,61 gramas de CO₂ equivalentes estão sendo produzidos na fabricação de uma estrutura externa a base de Bio-PVC. Para se ter um comparativo, o cenário base composto por TPU e ABS+PC produzia cerca de 55,9 gramas de CO₂ equivalentes, ou seja, uma redução de 85% na quantidade de CO₂ equivalentes emitidos, isso apenas para o primeiro cenário composto por bio-polímeros, uma comprovação de melhoria continua e Ecodesign.

Tabela 20 – Resultados para categorias de impacto: cenário estrutura externa de Bio-PET.

Metodologia	Categoria de Impacto	Descrição	Antena Wifi	Indicador de medida
CML 2001	GWP	Potencial de aquecimento global	2,80E-02	kg CO2 eq.
	AP	Acidificação	1,24E-04	kg SO2 eq.
	EP	Eutrofização	1,07E-04	kg Phosphate eq.
	ODP	Depleção de ozônio	6,29E-14	kg R11 eq.
	TETP	Ecotoxicidade terrestre	3,00E-05	kg DCB eq.
	FAETP	Ecotoxicidade aquática (lagos e rios)	2,92E-04	kg DCB eq.
	MAETP	Ecotoxicidade aquática (mares e oceanos)	-2,93	kg DCB eq.
	ADP elements	Depleção elementos energéticos	2,15E-08	kg Sb eq.
	ADP fossil	Depleção elementos energéticos fósseis	0,758	MJ
	HTP	Potencial de toxicidade humana	6,64E-03	kg DCB eq.
	POCP	Potencial de criação de ozônio fotoquímico	1,19E-05	kg Ethene eq.
	GWP, excl biogenic carbon	Potencial de aquecimento global, excluindo carbono biogênico	3,43E-02	kg CO2 eq.

Fonte: (próprio autor)

Tabela 21 – Resultados para categorias de impacto: cenário estrutura externa de Bio-PP.

Metodologia	Categoria de Impacto	Descrição	Antena Wifi	Indicador de medida
CML 2001	GWP	Potencial de aquecimento global	-1,62E-02	kg CO2 eq.
	AP	Acidificação	5,34E-04	kg SO2 eq.
	EP	Eutrofização	5,90E-04	kg Phosphate eq.
	ODP	Depleção de ozônio	4,11E-14	kg R11 eq.
	TETP	Ecotoxicidade terrestre	4,52E-05	kg DCB eq.
	FAETP	Ecotoxicidade aquática (lagos e rios)	6,08E-04	kg DCB eq.
	MAETP	Ecotoxicidade aquática (mares e oceanos)	-30,1	kg DCB eq.
	ADP elements	Depleção elementos energéticos	3,22E-09	kg Sb eq.
	ADP fossil	Depleção elementos energéticos fósseis	0,141	MJ
	HTP	Potencial de toxicidade humana	2,29E-02	kg DCB eq.
	POCP	Potencial de criação de ozônio fotoquímico	4,13E-05	kg Ethene eq.
	GWP, excl biogenic carbon	Potencial de aquecimento global, excluindo carbono biogênico	2,65E-02	kg CO2 eq.

Fonte: (próprio autor)

Tomando como referência a Tabela 20 e utilizando a categoria GWP também ponto de destaque, o cenário utilizando Bio-PET apresentou redução em sua quantização em comparação ao cenário base composto por TPU e ABS+PC, de 55,9 gramas CO₂ equivalentes para 28 gramas de CO₂ equivalentes emitidos na atmosfera, porém em comparação a diminuição oferecida pelo cenário de Bio-PVC, não apresentou o melhor resultado até o momento.

Em contrapartida na Tabela 21, os resultados para o cenário a base de Bio-PP foram extremamente positivos, uma vez que para a própria categoria de impacto GWP, o valor se apresentou de forma negativa, caracterizando um possível impacto ambiental positivo, ou seja, um grande cenário de melhoria contínua. Sendo assim, como mostra a tabela o a quantização de -16,2 gramas de CO₂ equivalentes, que ao contrário de uma emissão, poderiam ser uma possível recuperação ao meio ambiente.

Por fim, assim como para os cenários mostrados para o subsistema filamento interno, abaixo serão apresentados os dados normalizados externamente para os três bio-polímeros analisados até o momento. Esses dados serão examinados de forma conjunta e comparativa com o cenário de HDPE, para desta forma ser escolhido o melhor cenário de Ecodesign para a estrutura externa. Nas Tabelas 22, 23 e 24 respectivamente encontram-se os dados normalizados externamente para os cenários Bio-PVC, Bio-PET e Bio-PP.

Tabela 22 – Normalização externa para categorias de impacto: cenário estrutura externa composta por Bio-PVC.

Categoria de Impacto	Valores fornecidos pela ACV (Prático)	Unidades	Valores fornecidos GABI CML 2001, World, ano 2000, excl biogenic carbon (Teórico)	Normalização	Equivalencias
ADP Elements	1,2400E-07	kg Sb eq.	2,77E-09	3,4349E-16	3,61E+08
ADP Fossil	2,92E-01	MJ	2,63E-15	7,6842E-16	3,80E+14
AP	2,53E-04	kg SO2 eq.	4,18E-12	1,0586E-15	2,39E+11
EP	2,59E-04	kg Phosphate eq.	6,33E-12	1,6392E-15	1,58E+11
FAETP inf.	2,99E-04	kg DCB eq.	4,24E-13	1,2669E-16	2,36E+12
GWP 100 years	8,61E-03	kg CO2 eq.	2,37E-14	2,0403E-16	4,22E+13
GWP 100 years excl biogenic	8,61E-03	kg CO2 eq.	2,37E-14	2,0403E-16	4,22E+13
HTP inf.	1,06E-02	kg DCB eq.	3,88E-13	4,1085E-15	2,58E+12
MAETP inf.	-1,24E+01	kg DCB eq.	5,13E-15	-6,3590E-14	1,95E+14
ODP, steady state	2,57E-12	kg R11 eq.	4,41E-09	1,1322E-20	2,27E+08
POCP	2,37E-05	kg Ethene eq.	2,72E-11	6,4402E-16	3,68E+10
TETP inf.	3,58E-05	kg DCB eq.	9,17E-13	3,2844E-17	1,09E+12

Fonte: (próprio autor)

Tabela 23 – Normalização externa para categorias de impacto: cenário estrutura externa composta por Bio-PET.

Categoria de Impacto	Valores fornecidos pela ACV (Prático)	Unidades	Valores fornecidos GABI CML 2001, World, ano 2000, excl biogenic carbon (Teórico)	Normalização	Equivalencias
ADP Elements	2,1500E-08	kg Sb eq.	2,77E-09	5,9557E-17	3,61E+08
ADP Fossil	7,58E-01	MJ	2,63E-15	1,9947E-15	3,80E+14
AP	1,24E-04	kg SO2 eq.	4,18E-12	5,1883E-16	2,39E+11
EP	1,07E-04	kg Phosphate eq.	6,33E-12	6,7722E-16	1,58E+11
FAETP inf.	2,92E-04	kg DCB eq.	4,24E-13	1,2373E-16	2,36E+12
GWP 100 years	2,80E-02	kg CO2 eq.	2,37E-14	6,6351E-16	4,22E+13
GWP 100 years excl biogenic	2,80E-02	kg CO2 eq.	2,37E-14	6,6351E-16	4,22E+13
HTP inf.	6,64E-03	kg DCB eq.	3,88E-13	2,5736E-15	2,58E+12
MAETP inf.	-2,93E+00	kg DCB eq.	5,13E-15	-1,5026E-14	1,95E+14
ODP, steady state	6,29E-14	kg R11 eq.	4,41E-09	2,7709E-22	2,27E+08
POCP	1,19E-05	kg Ethene eq.	2,72E-11	3,2337E-16	3,68E+10
TETP inf.	3,00E-05	kg DCB eq.	9,17E-13	2,7523E-17	1,09E+12

Fonte: (próprio autor)

Tabela 24 – Normalização externa para categorias de impacto: cenário estrutura externa composta por Bio-PP.

Categoria de Impacto	Valores fornecidos pela ACV (Prático)	Unidades	Valores fornecidos GABI CML 2001, World, ano 2000, excl biogenic carbon (Teórico)	Normalização	Equivalencias
ADP Elements	3,2200E-09	kg Sb eq.	2,77E-09	8,9197E-18	3,61E+08
ADP Fossil	1,41E-01	MJ	2,63E-15	3,7105E-16	3,80E+14
AP	5,34E-04	kg SO2 eq.	4,18E-12	2,2343E-15	2,39E+11
EP	5,90E-04	kg Phosphate eq.	6,33E-12	3,7342E-15	1,58E+11
FAETP inf.	6,08E-04	kg DCB eq.	4,24E-13	2,5763E-16	2,36E+12
GWP 100 years	-1,62E-02	kg CO2 eq.	2,37E-14	-3,8389E-16	4,22E+13
GWP 100 years excl biogenic	-1,62E-02	kg CO2 eq.	2,37E-14	-3,8389E-16	4,22E+13
HTP inf.	2,29E-02	kg DCB eq.	3,88E-13	8,8760E-15	2,58E+12
MAETP inf.	-3,01E+01	kg DCB eq.	5,13E-15	-1,5436E-13	1,95E+14
ODP, steady state	4,11E-14	kg R11 eq.	4,41E-09	1,8106E-22	2,27E+08
POCP	4,13E-05	kg Ethene eq.	2,72E-11	1,1223E-15	3,68E+10
TETP inf.	4,52E-05	kg DCB eq.	9,17E-13	4,1468E-17	1,09E+12

Fonte: (próprio autor)

5.7 CENÁRIO COMPARATIVO – SUBSISTEMA ESTRUTURA EXTERNA

Por conseguinte, nesse tópico será levantado de forma comparativa com os dados apresentados até o momento sobre materiais bio-poliméricos, a designação do melhor cenário de melhoria contínua e Ecodesign para a estrutura externa da Antena Wi-Fi. Para isto, serão abordadas tabelas comparativas com dados brutos gerados pelo software GaBi, bem como tabelas e gráficos com dados normalizados externamente com o intuito de analisar os distintos impactos ambientais entre si de forma adimensional.

Vale mencionar que o material escolhido conforme análise, deve possuir as características de durabilidade, maleabilidade, rigidez como um plástico resistente, mas que também ofereça certa leveza e deformação como resistência a possíveis impactos e danos sofridos ao produto. Outra característica que vem sendo designada como principal objetivo, é que o material seja menos impactante ambientalmente em comparação ao material presente no cenário base (TPU e ABS+PC).

A começar pela análise da Tabela 25, onde todos os impactos gerados sem normalização pelo software GaBi, encontram-se organizados por cenário, uma primeira observação superficial pode ser retirada da tabela, onde todos os cenários alternativos apresentaram diminuição em seus impactos ambientais comparados ao cenário base.

Tabela 25 – Resultados comparativos de impactos ambientais para os cenários da Estrutura externa.

Metodologia	Categoria de Impacto	Descrição	Cenário Base (TPU e ABS+PC)	Cenário 1 (HDPE)	Cenário 2 (Bio-PVC)	Cenário 3 (Bio-PET)	Cenário 4 (Bio-PP)	Indicador de medida
CML 2001	GWP	Potencial de aquecimento global	5,59E-02	2,43E-02	8,61E-03	2,80E-02	-1,62E-02	kg CO2 eq.
	AP	Acidificação	1,90E-04	4,08E-05	2,53E-04	1,24E-04	5,34E-04	kg SO2 eq.
	EP	Eutrofização	3,33E-05	5,76E-06	2,59E-04	1,07E-04	5,90E-04	kg Phosphate eq.
	ODP	Depleção de ozônio	8,60E-12	5,34E-14	2,57E-12	6,29E-14	4,11E-14	kg R11 eq.
	TETP	Ecotoxicidade terrestre	1,23E-04	7,39E-05	3,58E-05	3,00E-05	4,52E-05	kg DCB eq.
	FAETP	Ecotoxicidade aquática (lagos e rios)	4,02E-04	3,07E-04	2,99E-04	2,92E-04	6,08E-04	kg DCB eq.
	MAETP	Ecotoxicidade aquática (mares e oceanos)	3,44	1,51	-12,4	-2,93	-30,1	kg DCB eq.
	ADP elements	Depleção elementos energéticos	2,00E-07	5,34E-09	1,24E-07	2,15E-08	3,22E-09	kg Sb eq.
	ADP fossil	Depleção elementos energéticos fósseis	1,18	0,928	0,292	0,758	0,141	MJ
	HTP	Potencial de toxicidade humana	1,44E-02	1,33E-03	1,06E-02	6,64E-03	2,29E-02	kg DCB eq.
CML 2001	POCP	Potencial de criação de ozônio fotoquímico	1,96E-05	6,70E-06	2,37E-05	1,19E-05	4,13E-05	kg Ethene eq.
	GWP, excl biogenic carbon	Potencial de aquecimento global, excluindo carbono biogênico	5,60E-02	2,43E-02	2,78E-02	3,43E-02	2,65E-02	kg CO2 eq.

Fonte: (próprio autor)

Tabela 26 – Resultados comparativos normalizados externamente de impactos ambientais para os cenários da Estrutura externa.

Normalizações Externas					
Categorias de impacto	TPU e ABS+PC	HDPE	Bio-PVC	Bio-PET	Bio-PP
ADP Elements	5,5402E-16	1,47922E-17	3,4349E-16	5,95568E-17	8,91967E-18
ADP Fossil	3,1053E-15	2,44211E-15	7,68421E-16	1,99474E-15	3,71053E-16
AP	7,9498E-16	1,70711E-16	1,05858E-15	5,18828E-16	2,23431E-15
EP	2,1076E-16	3,64557E-17	1,63924E-15	6,77215E-16	3,73418E-15
FAETP inf.	1,7034E-16	1,30085E-16	1,26695E-16	1,23729E-16	2,57627E-16
GWP 100 years	1,3246E-15	5,75829E-16	2,04028E-16	6,63507E-16	-3,83886E-16
GWP 100 years excl biogenic	1,3246E-15	5,75829E-16	2,04028E-16	6,63507E-16	-3,83886E-16
HTP inf.	5,5814E-15	5,15504E-16	4,10853E-15	2,57364E-15	8,87597E-15
MAETP inf.	1,7641E-14	7,74359E-15	-6,359E-14	-1,5026E-14	-1,54359E-13
ODP, steady state	3,7885E-20	2,35242E-22	1,13216E-20	2,77093E-22	1,81057E-22
POCP	5,3261E-16	1,82065E-16	6,44022E-16	3,2337E-16	1,12228E-15
TETP inf.	1,1284E-16	6,77982E-17	3,2844E-17	2,75229E-17	4,14679E-17

Fonte: (próprio autor)

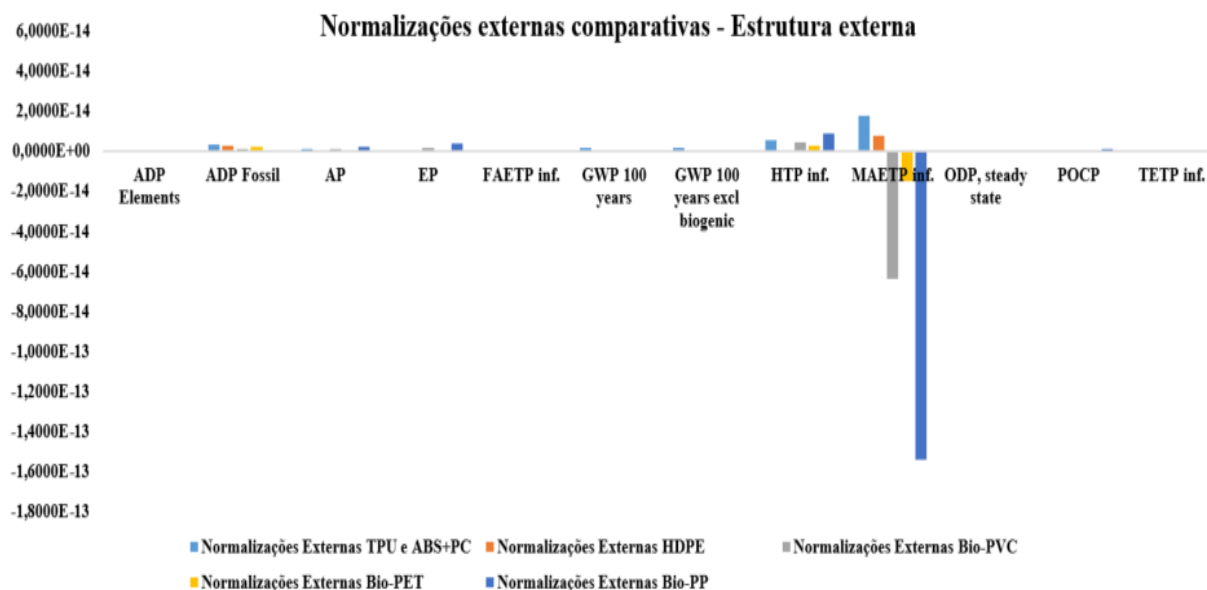


Figura 20 – Gráfico comparativo, normalizações externas para cenários: subsistema estrutura externa.
Fonte: (próprio autor)

Também continuando com as observações a respeito dos dados obtidos e tomando como referência as Tabelas 25 e 26 e o gráfico presente na Figura 20, determinadas afirmações podem ser retiradas com o objetivo de definir o melhor cenário alternativo de melhoria contínua e Ecodesign para o subsistema estrutura externa da Antena Wi-Fi. Inicializando com a Tabela 25, para a categoria GWP em comparativo com o cenário base composto por TPU e ABS+PC, todos os cenários alternativos apresentaram diminuição na produção de CO₂ equivalentes.

Para se ter uma base de tal afirmação, vale mencionar novamente devido a tamanha proporção que tal argumento tem com importância para o objetivo do estudo, o cenário base é responsável pela emissão de 55,9 gramas de CO₂ equivalentes. Em contrapartida, os cenários alternativos apresentaram as seguintes diminuições 24,3g CO₂ eq para HDPE, 8,61g CO₂ eq para Bio-PVC, 28g CO₂ eq para Bio-PET e como destaque para esse quesito de análise tem-se o resultado de -16,2g CO₂ eq para o cenário do material Bio-PP, onde o sinal negativo da respectiva categoria pode significar um impacto positivo ou uma recuperação para o meio ambiente com o auxílio desse tipo de bio-material.

Utilizando como referência nesse momento a Tabela 26, composta apenas por dados normalizados externamente para todos os cenários e suas respectivas categorias de impacto, com o auxílio da formulação mínima do Excel, esse tipo de análise pode ser feito uma vez que dados normalizados externamente apresentam valores adimensionais. Sendo assim, aplicando esse tipo de formulação, 6 categorias de impacto apontam seus menores valores para o cenário a base de Bio-PP, sendo elas ADP elements, ADP fóssil, GWP e GWP excluindo carbono

biogênico, MAETP e ODP. Em relação as categorias de impacto restantes, 4 apontam para o cenário de HDPE como o menos impactante sendo as definidas AP, EP, HTP e POCP e 2 categorias definem o Bio-PET como o melhor cenário, são elas FAETP e TETP.

Por fim e tão importante quanto, utilizando o gráfico da Figura 20 como referência, é perceptível a diferença da categoria MAETP para as restantes em relação a seus níveis e isso refere-se a questão que foi mencionada anteriormente, que cada ACV possui suas particularidades que podem influenciar em seus resultados quando expressados em gráficos. Dessa forma, é possível utilizar essa categoria de impacto como uma forma de análise para a escolha do melhor cenário, e como a figura mostra há três cenários que despontam com valores negativos para seus respectivos impactos ambientais na categoria MAETP, sendo eles justamente os cenários que utilizam materiais bio-poliméricos. Porém, um deles ressalta mais que os outros cenários, sendo mais uma vez o cenário composto pelo material Bio-PP.

Sendo assim, conforme levantada as observações conclui-se que para o subsistema estrutura externa da Antena Wi-Fi, o melhor cenário envolvendo um processo de melhoria contínua e Ecodesign, seria a troca de todo o radome composto por TPU e ABS+PC por uma material bio-polimérico tal como o Bio-PP, que além de apresentar diminuição na grande maioria das categorias de impactos mostradas, apresentou certa inversão no sentido de prejuízo ao meio ambiente, semelhante a um processo de recuperação ao demonstrar valores negativos para determinados impactos ambientais em sua análise.

6 CONCLUSÕES

Em suma, essa seção tem como propósito finalizar o trabalho com a apresentação das principais conclusões e contribuições a serem oferecidas ao meio acadêmico obtidas até o presente momento, bem como mostrar as limitações envolvidas durante todo o processo de estudo que foram sendo resolvidas a fim de alcançar os objetivos designados. A começar pelas limitações, pode-se citar a ausência de uma empresa parceira com ampla especialidade na área de produção de antenas, responsável por fornecer informações mais detalhadas de todo o processo de fabricação do produto analisado.

Por mais que essa limitação tenha sido pouco relevante para a pesquisa, tendo em vista o acervo de diversidade de informação presentes nos meios eletrônicos atuais, o auxílio de uma empresa parceira da área facilitaria na busca de dados relevantes para a alimentação da pesquisa, tais como artigos e *datasheets* que contenham informações a respeito de energia, materiais e processos utilizados na produção.

Uma segunda limitação presente foi a ausência de estudos com a utilização de ACVs e ferramentas do Ecodesign em produtos e componentes específicos como uma Antena Wi-Fi. Em sua maioria, os artigos e estudos abordados nessa pesquisa que utilizavam de tais ferramentas, estavam aplicados a produtos maiores tais como notebooks, *smartphones*, *laptops*, monitores e entre outros. De certa forma, esse trabalho faz com que essa limitação passe a ser solucionada, uma vez que abre novos caminhos para estudos aplicados em diferentes produtos e componentes.

Complementando a limitação citada acima e direcionando as contribuições a serem deixadas, em um primeiro momento direcionando a academia, esse projeto poderá ser utilizado como um alicerce para aqueles que procuram um maior entendimento da aplicação de ACVs e ferramentas de Ecodesign, uma vez que ambas foram seguidas conforme as normas ABNT 14040 e 14044, além de outras diretivas abordadas na sessão de revisão bibliográfica. Outra contribuição para o meio, tendo em vista que foram encontrados poucos projetos específicos para a área de telecomunicações seria a ampliação de estudos utilizando ACVs e Ecodesign para uma área como mencionada escassa de conteúdo de qualidade.

Para a sociedade, o projeto visa contribuir para uma maior conscientização relacionado ao meio ambiente e a manutenção do planeta de forma digna para as futuras gerações. No atual sistema de consumismo e capitalismo desenfreado e o avanço exponencial da tecnologia, esse trabalho visa mostrar a sociedade o quanto esse crescimento está afetando nosso planeta, sendo que materiais que possam estar sendo descartados erroneamente ou até materiais que agriam

menos possam ser utilizados de forma mais assertiva na fabricação de produtos e assim contribuam mais com o planeta.

Para o autor, fica como aprendizado o conhecimento adquirido na área ambiental, mais especificamente sobre ferramentas de Ecodesign, tendo em vista que o mesmo já possui conhecimento a respeito de ACVs e suas aplicações. Sendo assim o autor, espera contribuir com uma maior disseminação sobre o Ecodesign para o desenvolvimento sustentável na geração. A sustentabilidade vem sendo e continuará a ser a alternativa para o combate da degeneração do planeta. Assim como nesse projeto, maiores investimentos devem ser realizados em pesquisas para substituição de materiais alternativos como os polímeros abordados até o momento pelos bio-polímeros ou até mesmo os PADs (Plásticos Ambientalmente Degradáveis).

Em relação a parte dos metais abordados, como o Cobre e o Alumínio, elementos que em seus diferentes processos de produções, independente do formato adquirido a serem utilizados, possuem grandes variações de impactos ambientais produzidos como foi visto. Dessa forma, metais alternativos como o Aço-carbono podem ser soluções que possuam melhor performance na área sustentável, é claro que não afetando o desempenho técnico do produto, que para o caso estudado estava relacionado com condução eletromagnética.

Por fim, foi possível concluir que através dos resultados apresentados os subsistemas estrutura externa e filamento irradiador, classificados como as estruturas mais impactantes ambientalmente da Antena Wi-Fi, poderiam ter suas composições modificadas com materiais alternativos (Bio-PP e Aço-carbono, respectivamente), de modo a melhorar seu desempenho ambiental sem impactar no desempenho técnico da antena, uma vez que a faixa de valor de condução eletromagnética pertencente ao Aço-carbono é próxima do Cobre, material comumente utilizado anteriormente em produtos da mesma classificação fabricados na indústria.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR ISO 14040: Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e Estrutura. Rio de Janeiro, 2009.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR ISO 14044: Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e Orientações. Rio de Janeiro, 2009.
- ALBERTO, Caio Henrique Teixeira. **AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE UMA ANTENA WI-FI. UNESP**, São João da Boa Vista - SP, 2021.
- ARAÚJO, Marcelo Guimarães. **Modelo de avaliação do ciclo de vida para a gestão de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos no Brasil.** / Marcelo Guimarães Araújo – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2013.
- BALANIS, Constantine A., **Teoria de antenas: análise e síntese**, volume 1 / Constantine A. Balanis; tradução J. R. Souza; revisão Silvio Ernesto Barbin, J.R. Souza. – [Reimpr.]. – Rio de Janeiro: LTC, 2014. 2v
- BALANIS, Constantine A., 1938 - **Modern antenna handbook** / Constantine A. Balanis, 2008.
- BIERHALZ, Andréa C. K.; MORAES, Ângela M.; PIRES, Ana Luiza R.. **Biomateriais tipos, aplicações e mercado.** UNICAMP, Campinas - SP, 2015, Química Nova - Vol. 38, No. 7.
- CML: **Handbook on Life Cycle Assessment, Operational Guide to the ISO Standards.** CML 2002. Disponível em: <<https://www.leidenuniv.nl/cml/ssp/projects/lca>>. Acesso em: 15 out. 2020.
- CONNECTOR CITY. **SMA MALE CABLE END CRIMP FOR RG58 CABLE.** Disponível em: < <https://linxtechnologies.com/wp/p/connectors/>>. Acesso em: 16 ago. 2020.
- CUBALA, A.B.; PURVIS, M.R.I., **A methodology for life cycle and sustainability analysis of manufacturing processes.** Journal of Cleaner Production, 1999
- GARCIA, Luis Guilherme Uzeda. **REDES 802.11 (Camada de Enlace) - Redes locais sem fio que atendem ao padrão IEEE 802.11.** Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro: 2020.
- GARCIA, Juan Carlos Claros. **Ecodesign: estudo de caso em uma indústria de móveis de escritório.** Escola de Engenharia de UFMG, Belo Horizonte, 2007.
- GRAEDEL, T.; ALLENBY, B.R. **Industrial Ecology.** 2nd Edition. New Jersey: Prentice Hall, 2003.
- HOCHSCHORNER, E.; FINNVEDEN, G. **Evaluation of Two Simplified Life Cycle Assessment Methods.** *International Journal of Life Cycle Assessment* , 8 (3), 119-128, 2003.

IEEE S.A. **IEEE P802.11ax™ Meets Requirements for 5G Indoor Hotspot and Dense Urban Deployments Enabling Enhanced Wireless Network Performance.** PISCATAWAY, NEW JERSEY, USA, 17 December 2019. Disponível em: <<https://standards.ieee.org/news/5g-indoor-hotspot-and-dense-urban-deployments/>>.

JUI-CHE TU. **An Assessment Model of Green Design Analysis For Photocatalyst Products of Environmental Protection**, Tokyo, Japan, 2006. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1619367>

KEMERICH, Pedro Daniel da Cunha et al. **Impactos ambientais decorrentes da disposição inadequada de lixo eletrônico no solo.** Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia, v. 10, n.2,2013. Disponível em:<http://ferramentas.unipinhal.edu.br/engenhariaambiental/viewarticle.php?id=900&layout=abstract&locale=>. Acesso em: 21 mar. 2021.

KHOROV, Evgeny; AKYILDIZ, Ian F.; LEVITSKY, Ilya. **Current Status and Directions of IEEE 802.11be, the Future Wi-Fi 7.** IEE Xplore/IEEE Access, Vol. 8. Publicado em: 08/05/2020. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/9090146>>.

KUROSE, James F.; ROSS, Keith W.. **Redes de Computadores e a Internet: Uma Abordagem Top - Down.** 5. ed. São Paulo: Pearson, 2010. 576 p.

LENAU, T. A., & Lakhtakia, A. (2021). **Biologically Inspired Design: A Primer: Synthesis Lectures on Engineering, Science, and Technology.** Morgan & Claypool Publishers, LLC. <https://doi.org/10.2200/S01064ED1V01Y202012EST014>

LUTTROP, Conrad; LAGERSTEDT, Jessica. **EcoDesign and The Ten Golden Rules: generic advice for merging environmental aspects into product development.** Journal of Cleaner Production, Vasteras, Sweden, 2006.

MAIA, Larissa Martins; CRUZ, Cleide Ane Barbosa; OLIVEIRA, Clauberto Rodrigues; FRAGA, Érica Emília Almeida. **A IMPORTÂNCIA DA FERRAMENTA CURVA ABC NO GERENCIAMENTO DE ESTOQUE.** Anais do IX Simpósio de Engenharia de Produção de Sergipe (2017).

MARKETSANDMARKETS. **Wi-Fi Market by Component (Solutions (Access Points and WLAN Controllers) and Services (Network Planning and Design)), Density (HighDensity Wi-Fi and Enterprise-Class Wi-Fi), Vertical, and Region - Global Forecast to 2022.** Disponível em: <<https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/global-wi-fimarket-994.html>>. Acesso em: 16 set. 2020

- MASUI, K; SAKAO, T.; INABA, A.. **Quality function deployment for environment: QFDE** (1st report)-a methodology in early stage of DfE. Tokyo, Japan, 2002. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/992480>.
- MACCIONI, L.; BORGIANNI, Y.; PIGOSSO, D. C. A. (2019). **Can the choice of eco-design principles affect products' success?** Design Science, 5, [e25]. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/dsj.2019.24>
- MAYER, Martin János; GRÓF, Gyula. **Ecodesign of ground-mounted photovoltaic power plants: Economic and environmental multi-objective optimization. Journal of Cleaner Production**, Vol. 278, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620339792>
- MCALOONE, TC e PIGOSSO, DCA (2018). **Implementação de Ecodesign e ACV** . Em MZ Hauschild, RK Rosenbaum, & S. Irving Olsen (Eds.), Life Cycle Assessment: Theory and Practice: Theory and Practice (pp. 545-576). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-56475-3_23
- MENESES, Emerson Barros de. **REDE WIRELESS: UMA SOLUÇÃO SEM FIOS** Trabalho de Co. UNIVERSIDADE CÂNDIDO MENDES, Rio de Janeiro: Dezembro de 2009.
- MENDES, Natalia Crespo; BUENO, Cristiane; OMETTO, Aldo Roberto. **Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida: revisão dos principais métodos**. Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, 2013.
- PLANALTO GOVERNO FEDERAL. **Decreto n.º 10.936 de 12 de janeiro de 2022, vide Lei de Política Nacional de Resíduos Sólidos, arts. (30)**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/decreto/D10936.htm
- PLATCHECK, E. R.; CÂNDIDO, L. H. A. **Methodology of eco design for the development of more sustainable electro-electronic equipments**. Journal of Cleaner Production, 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-cleaner-production>
- POZAR, David M. **Microwave engineering**. 4th ed. Wiley. Massachussetts, 2011.
- O'CONNOR, Dr. F.; PALMER, L; PRENDEVILLE, S.. **Barriers and Benefits to Ecodesign: A Case Study of Tool use in an SME**. UNIV ESTADUAL PAULISTA JULIO DE MESQUITA FILHO, 2021.
- PIL-JU PARK; KUN-MOLEE. **Development of Ecodesign Method for Electronics Products**. UNIV ESTADUAL PAULISTA JULIO DE MESQUITA FILHO. IEEE XPLORE, 2021.
- RODRIGUES, A. C. **Impactos Socioambientais dos Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos: Estudo da Cadeia Pós-consumo no Brasil**. Santa Bárbara do Oeste. Dissertação

de Mestrado – Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo da UNIMEP, 2007. Acesso em: 27 mar. 2021.

RUIZ, Mauro Silva; CÔRTEZ, Alexandre Oliveira Aguiar; GALLARDO; Amarilis Lucia Casteli Figueiredo; QUARESMA, Cristiano Capellani. **Adequação às exigências ambientais da diretiva RoHS – Restriction of Hazardous Substances: um desafio à indústria eletroeletrônica no Brasil. Revista em Gestão, Inovação e Sustentabilidade**, Brasília, 2016.

SANTOS, Valério Freitas dos. **Extrusão de perfis em Poliuretano Termo-plástico – TPU** / Valério Freitas dos Santos – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial – SENAI-RS Escola de Educação Profissional SENAI Nilo Bettanin, 2007

SANKAR, Krishna et al. **Cisco Wireless Lan Security: Expert guidance for securing your 802.11 networks**. Indianapolis: Cisco Press, 2004. 456 p.

SILVA, A.C.; PIDONE, L.; MELLO-CASTANHO, S.R.H. **Aplicação da diretiva WEEE: Vitrificação de e-Waste..** 55º Congresso Brasileiro de Cerâmica, 29 de maio a 01 de junho de 2011, Porto de Galinhas, PE, Brasil.

SILVEIRA, Sirney; COMAR, Regina G.; SILVA, Roberto P.B.; MARTINI-ANO, Thaliane; OMETTO, Aldo. **Subsídios para Avaliação do Ciclo de Vida em Cabos de Telecomunicações**. FÓRUM INTERNACIONAL DE RESÍDUOS SÓLI-DOS, 4., 2013, Porto Alegre. São Paulo: CPQD - Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações, 2013

TANENBAUM, A. S. – **Redes de Computadores** – 5ª Ed., Pearson, 2011.

TAOGLAS ANTENNA SOLUTIONS. **2.4GHz/5.8GHz Dipole Antenna for ISM Band and WLANnIEEE 02.11a/b/g/h**. Disponível em: <<https://www.taoglas.com/>>. Acesso em: 10/06/2020.

VAN HEMEL, C. G.; BREZET, J. C. **Ecodesign: a promising approach to sustainable production and consumption**. Paris: United Nations Environmental Programme, 1997.

WATKINS, M.; CASAMAYOR, J. L.; RAMIREZ, M.; MORENO, M.; FALUDI, J.; PIGOSSO, D. C. A. (2021). **Sustainable Product Design Education: Current Practice**. She Ji, 7(4), 611-637. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.sheji.2021.11.003>

WI-FI Alliance. **Wi-Fi Generations**. Santa Clara, California, USA, 2022. Disponível em: <<https://www.wi-fi.org/discover-wi-fi>>.

WIMMERL, Wolfgang; PAMMINGERL, Rainer; STACHURA, Marek; GRAB, Ratko. **ECODESIGN intheelectronicsindustry- achievinglegalcompliancewiththe EU-directivesandenvironmentallyimprovingproductsbyusingthenew EEE-PILOT**. UNIV ESTADUAL PAULISTA JULIO DE MESQUITA FILHO, IEE XPLORE, 2021.

APÊNDICE A – INVENTÁRIO DOS MATERIAIS CARACTERIZADOS

Tabela 27 – Pesos dos componentes em laboratório.

Componentes da Antena Wifi	Composição do Componente (Nome)	Fórmula Molecular	1 medida (gramas)	2 medida (gramas)	3 medida (gramas)	MÉDIA (gramas)
Antena Total			24,663	24,665	24,663	24,66366667
SMA completo			8,757	8,757	8,758	8,757333333
Filamento Interno Completo			6,934	6,934	6,934	6,934
Casca (Radome)	Termoplástico poliuretano (TPU)	(R-O-CO-NH-R'-NH-CO-O)	8,975	8,975	8,974	8,974666667
Espuma do Filamento	Espuma poliuretano (PU)	(R-O-CO-NH-R'-NH-CO-O)	0,011	0,01	0,011	0,010666667
Ruela Grossa	Latão	Cu-Zn	0,327	0,327	0,327	0,327
Ruela Fina	Latão	Cu-Zn	0,159	0,16	0,16	0,159666667
Borracha Capa Protetora	Polibutadieno (Borracha)	(CH ₂ - CH = CH - CH ₂) _n	0,467	0,467	0,467	0,467
Casca Protetora SMA	ABS+PC	(C ₈ H ₈ .C ₄ H ₆ .C ₃ H ₃ N) _n + -(CO-O-pPh-C(CH ₃)-pPh-O]	0,855	0,854	0,855	0,854666667
Engate Plástico Cabo de Aço	ABS+PC	(C ₈ H ₈ .C ₄ H ₆ .C ₃ H ₃ N) _n + -(CO-O-pPh-C(CH ₃)-pPh-O]	1,89	1,89	1,89	1,89
Engate Plástico 2,4GHz	ABS+PC	(C ₈ H ₈ .C ₄ H ₆ .C ₃ H ₃ N) _n + -(CO-O-pPh-C(CH ₃)-pPh-O]	1,835	1,836	1,836	1,835666667
Borracha Laranja Conector SMA	Polibutadieno (Borracha)	(CH ₂ - CH = CH - CH ₂) _n	0,015	0,015	0,016	0,015333333
Parte Interna Conector SMA	Latão	Cu-Zn	1,057	1,057	1,058	1,057333333
Parte Externa Conector SMA	Latão	Cu-Zn	2,136	2,137	2,137	2,136666667
Teflon SMA sem conector	Politetrafluoretileno (Téflon)	(C ₂ F ₄) _n	0,262	0,262	0,263	0,262333333
Conector Interno do Teflon SMA	Fósforo de Bronze ou Bronze Puro	Cu-Es	0,075	0,075	0,075	0,075
Filete de cobre - Filamento	Cobre	Cu-Cu	1,406	1,406	1,406	1,406
Material preso ao filamento de cobre	Latão + Zinco	Cu-Zn + Zn	2,962	2,961	2,962	2,961666667
Tubo de metal sem teflon	Alumínio	Al-Al	1,42	1,419	1,42	1,419666667
Teflon do tubo de metal	Politetrafluoretileno (Téflon)	(C ₂ F ₄) _n	0,301	0,301	0,301	0,301
Capa externa (cabo de aço)	Poliétileno (Plástico)	CH ₂ =CH ₂	0,119	0,119	0,119	0,119
Malha externa (cabo de aço)	Alumínio	Al-Al	0,152	0,154	0,154	0,153333333
Capa interna (cabo de aço)	Poliétileno (Plástico)	CH ₂ =CH ₂	0,06	0,061	0,06	0,060333333
Malha interna (cabo de aço)	Alumínio	Al-Al	0,028	0,027	0,028	0,027666667

Perdas de material	0,149
Peso com perdas	

Fonte: (próprio autor).

APÊNDICE B – ENERGIA UTILIZADA

Tabela 28 – Energias calculadas na fabricação dos componentes.

Componentes da Antena Wifi	Composição do Componente (Nome)	Fórmula Molecular	Máquinas utilizadas	Potência (KW)	Potência (utilizada em KW)	Capacidade	Consumo utilizado (MJ)
Antena Total							
SMA completo							
Filamento Interno Completo							
Casca (Radome)	Termoplástico poliuretano (TPU)	(R-O-CO-NH-R'-NH-CO-O)	Máquina extrusora para plásticos	200 a 250	200	600 a 800 kg/h	0,0092304000
Espuma do Filamento	Espuma poliuretano (PU)	(R-O-CO-NH-R'-NH-CO-O)	Máquina laminadora de espuma PU	1,5	1,5	120pcs/h	1,9026E-06
Ruela Grossa	Latão	Cu-Zn	Máquina de chapa de latão/ Micro prensa DAI 2000	1 a 30,55	30,55	80mm/min e 310 ciclos/min	0,0001024997 e 0,00010645
Ruela Fina	Latão	Cu-Zn	Máquina de chapa de latão/ Micro prensa DAI 2000	1 a 30,55	30,55	80mm/min e 310 ciclos/min	0,0001024997 e 0,00010645
Borracha Capa Protetora	Polibutadieno (Borracha)	(CH ₂ - CH = CH - CH ₂) _n	Máquina extrusora para plásticos	200 a 250	200	600 a 800 kg/h	0,0004803400
Casca Protetora SMA	ABS+PC	(C ₈ H ₈ .C ₄ H ₈ .C ₃ H ₃ N) _n + (4(CO-O-pPh-Q(CH ₃)-pPh-O)) _n	Máquina extrusora para plásticos	200 a 250	200	600 a 800 kg/h	0,0008790130
Engate Plástico Cabo de Aço	ABS+PC	(C ₈ H ₈ .C ₄ H ₈ .C ₃ H ₃ N) _n + (4(CO-O-pPh-Q(CH ₃)-pPh-O)) _n	Máquina extrusora para plásticos	200 a 250	200	600 a 800 kg/h	0,0019439900
Engate Plástico 2,4GHz	ABS+PC	(C ₈ H ₈ .C ₄ H ₈ .C ₃ H ₃ N) _n + (4(CO-O-pPh-Q(CH ₃)-pPh-O)) _n	Máquina extrusora para plásticos	200 a 250	200	600 a 800 kg/h	0,0018880980
Borracha Laranja Conector SMA	Polibutadieno (Borracha)	(CH ₂ - CH = CH - CH ₂) _n	Máquina extrusora para plásticos/ Máquina de corte de elástico	200 a 250 /1,5	200/1,5	600 a 800 kg/h e 100 a 120 cortes/min	0,00015768 e 0,00074999
Parte Interna Conector SMA	Latão	Cu-Zn	Máquina tubo/barra de latão	20	20	25,38m/min	0,0004728200
Parte Externa Conector SMA	Latão	Cu-Zn	Máquina tubo/barra de latão	20	20	25,38m/min	0,0005200900
Teflon SMA sem conector	Polieterafluoretileno (Teflon)	(C ₂ F ₄) _n					
Conector Interno do Teflon SMA	Fósforo de Bronze ou Bronze Puro	Cu-ES	Forno de fundição/Máquina de tubo de latão (bronze)	5 e 20	5 e 20	1kg/h e 25,38m/min	0,00135 e 0,0047282
Filote de cobre - Filamento	Cobre	Cu-Cu	Máquina para enrolamento de bobina de cobre	0,5	0,5	800pcs/h	0,0023400000
Material preso ao filamento de cobre	Latão + Zinco	Cu-Zn + Zn	Máquina tubo/barra de latão	20	20	25,38m/min	0,0010401800
Tubo de metal sem teflon	Alumínio	Al-Al	Máquina de tubo de alumínio	0,75	0,75	5m/min	0,0001979200
Teflon do tubo de metal	Polieterafluoretileno (Teflon)	(C ₂ F ₄) _n					
Capa externa (cabo de aço)	Poliétileno (Plástico)	CH ₂ =CH ₂	Máquina extrusora para plásticos	200 a 250	200	600 a 800 kg/h	0,0001223980
Malha externa (cabo de aço)	Alumínio	Al-Al	Máquina trefiladora fio de alumínio/ Máquina de trançar fio	66 e 0,75	66 e 0,75	1800m/min e 1,5m/min	0,000112195 e 0,00153306
Capa interna (cabo de aço)	Poliétileno (Plástico)	CH ₂ =CH ₂	Máquina extrusora para plásticos	200 a 250	200	600 a 800 kg/h	0,0000620525
Malha interna (cabo de aço)	Alumínio	Al-Al	Máquina trefiladora fio de alumínio/ Máquina de trançar fio	66 e 0,75	66 e 0,75	1800m/min e 1,5m/min	0,000112195 e 0,00153306

Fonte: (próprio autor).

APÊNDICE C – ICV DA ANTENA WI-FI

Tabela 29 – ICV completo Antena Wi-Fi.

Phase	Antenna Part	Component	Sub-component	Process	Input	Output			
Manufacturing	Intern Filament	Steel Coil + Brass Billet	Copper Coil	Copper Wire Bending	Electricity Copper	0,00234MJ 0,00141kg	Copper wire	0,00141kg	
			Brass Billet	Machine Brass Billet	Electricity Brass	0,00104MJ 0,00296kg	Brass billet	0,00296kg	
			Welding Pen Machine		Electricity	0,024MJ	Steel coil, painted + brass billet	0,00437kg	
			Covered Aluminium Wire Braid	Aluminium Braided Wire	Smelting Furnace	Electricity Aluminium ingot	0,00326MJ 0,000181kg	Aluminium ingot (secondary)	0,000181kg
					Wire Drawing Machine	Aluminium ingot	0,000181kg	Drawn aluminium	0,000181kg
						Electricity	0,00326MJ		
				Aluminium Wire Branding	Drawn aluminium	0,000181kg	Aluminium wire braiding	0,000181kg	
					Electricity	0,00307MJ			
				Polyethylene	Machine Extrusion for Plastics	Polyethylene granulate	0,000179kg	Polyethylene wire coating	0,000179kg
			Extrusion Machine for Wires and Cables		Electricity	0,000184MJ 0,0000566MJ	Covered aluminium wire braid	0,00036kg	
		SMA Connector	SMA Connector	Teflon	Machine Extrusion for Plastics	Polytetrafluoroethylene granulate	0,000563kg	Polytetrafluoroethylene granulate tube	0,000563kg
				Bronze Tube	Smelting Furnace	Copper scrap Tin scrap	0,0000675kg 0,0000075kg	Bronze (secondary)	0,000075kg
						Electricity	0,00135MJ		
					Machine Bronze Tube	Bronze	0,000075kg	Bronze tube	0,000075kg
						Electricity	0,000473MJ		
					Brass Tube	Machine Brass Tube	Brass	0,00319kg	Brass tube
					Electricity	0,000993MJ			
		Extern Structure	ABS+PC for tube	ABS+PC for tube	Machine Extrusion for Plastics	Acrylonitrile, butadiene, styrene Polycarbonate granulate	0,00229kg 0,00229kg	Polycarbonate + ABS blend	0,00458kg
						Electricity	0,00471MJ		
			TPU for tube	TPU for tube	Machine Extrusion for Plastics	Thermoplastic granulate	0,00897kg	Thermoplastic polyurethane tube	0,00897kg
					Electricity	0,00923kg			
	PU foam		PU foam	Vertical Rolling Mill	Polyurethane flexible foam	0,0000106kg	Polyurethane foam in tube	0,0000106kg	
					Electricity	0,00000191MJ			
	Brass Washer		Brass Washer	Machine Brass Sheet	Brass	0,000487kg	Brass sheet	0,000487kg	
					Electricity	0,000045MJ			
				Micro Press	Brass sheet	0,000487kg	Brass washer	0,000487kg	
					Electricity	0,000213MJ			
	Aluminium Tube		Aluminium Tube	Aluminium Foil Bending	Aluminium foil	0,00142kg	Aluminium secondary (tube)	0,00142kg	
					Electricity	0,000198MJ			
	Polybutadiene Cover Protect		Polybutadiene Cover Protecte	Machine Extrusion for Plastics	Polybutadiene granulate	0,000467kg	Protective coating in tube	0,000467kg	
					Electricity	0,00048MJ			
	Polybutadiene Marker	Polybutadiene Marker	Machine Extrusion for Elastics	Polybutadiene granulate	0,0000153kg	Elastic marker (in tube)	0,0000153kg		
				Electricity	0,0000158MJ				
			Rubber Band Cutting Machine	Elastic marker in tube	0,0000153kg	Elastic marker	0,0000153kg		
				Electricity	0,00075MJ				
						Carbon dioxide (CO2)	0,0869kg		
						Sulphur dioxide (SO2)	0,000377kg		
						Phosphate	0,0000439kg		
						Trichlorofluoromethane (R11)	0,00000000189 kg		
						ADP elements	0,00000878kg		
					ADP fossil	1,55 MJ			
					FAETP	0,000863 kg DCB			
					HTP	0,0502 kg DCB			
					MAETP	41,8 kg DCB			
					POCP	0,0000801 kg Ethene			
					TETP	0,000229 kg DCB			
					Carbon dioxide (excl biog carbon)	0,087kg			
					Carbon dioxide (excl biog carbon, incl LUC)	0,0872kg			
					Carbon dioxide (incl biog carbon, incl LUC)	0,0872kg			
					Carbon dioxide (land use)	0,000209kg			

Fonte: (próprio autor).

ANEXO A – DATASHEET ANTENA WI-FI

Tabela 30 – Datasheet parcial antena Wi-Fi Taoglass.

SPECIFICATION

Part No.	: GW.71.5153
Product Name	: 2.4GHz/5.8GHz Dipole Antenna for ISM Band and WLAN IEEE 802.11a/b/g/h
Feature	: 5dBi High Performance Antenna RP-SMA(M) Hinged Antenna RoHS Compliant



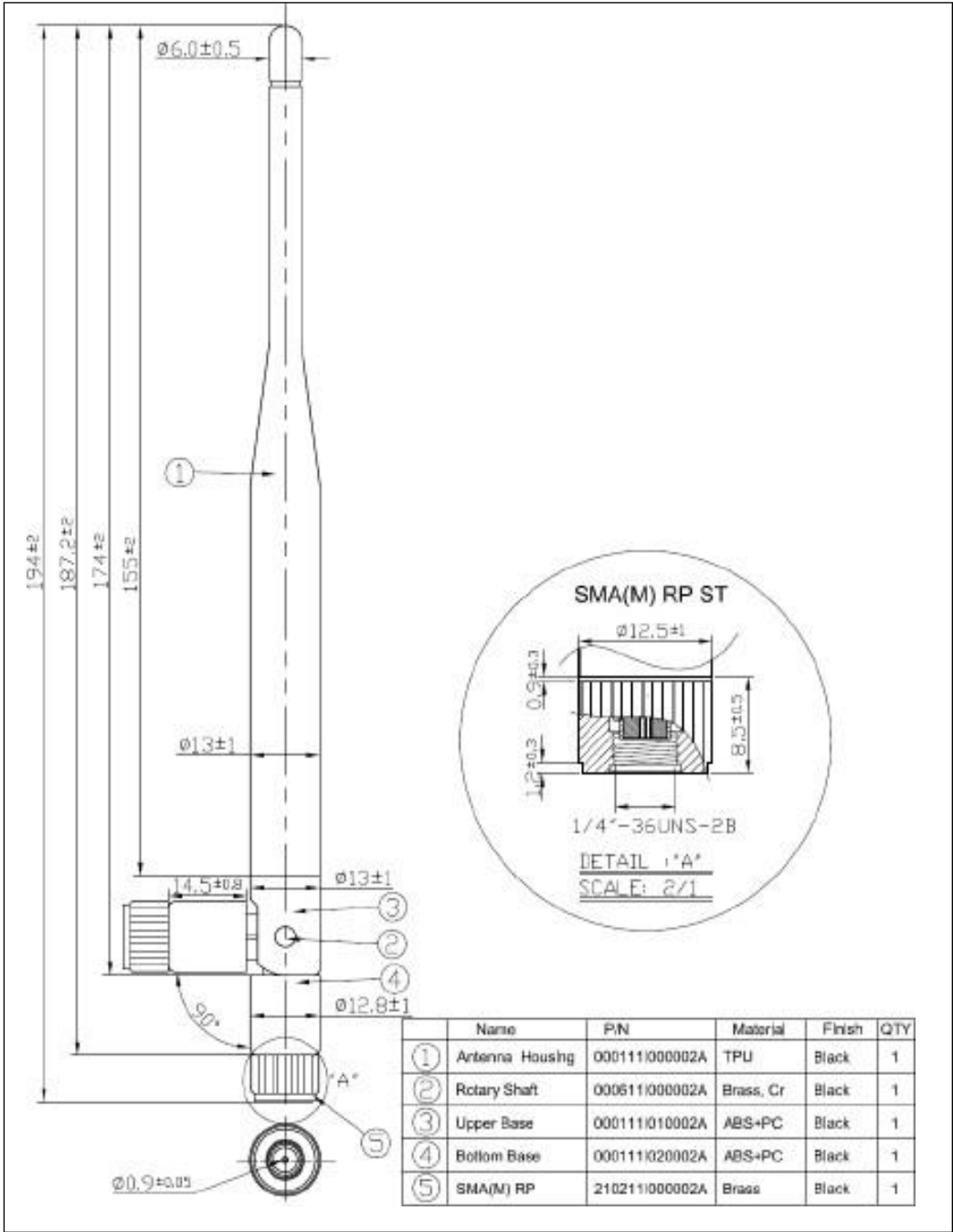
Fonte: (Adaptado de Taoglass Datasheets, 2018).

Tabela 31 – Datasheet parcial Antena Wi-Fi Taoglass, caracterização.

ELECTRICAL		
Frequency	2.4 ~ 2.5GHz,	4.9 ~ 5.8GHz
VSWR	<2	<2.1
Peak Gain (straight)	3.3dBi	4.9dBi
Peak Gain (bend)	3.8dBi	5.5dBi
Average Gain (straight)	-0.9dBi	-1.5dBi
Average Gain (bend)	-0.7dBi	-0.0dBi
Efficiency (straight)	80%	71%
Efficiency (bend)	86%	83%
Polarization	Linear	
Impedance	50 Ohms	
Radiation Pattern	Omni	
Input Power	2W max.	
MECHANICAL		
Antenna Length	194mm	
Antenna Diameter	12.8mm	
Weight	24.6g	
Antenna Body Material	TPU	
ENVIRONMENTAL		
Temperature Range	-40°C to 85°C	
Humidity	Non-condensing 65°C 95% RH	

Fonte: (Adaptado de Taoglass Datasheets, 2018).

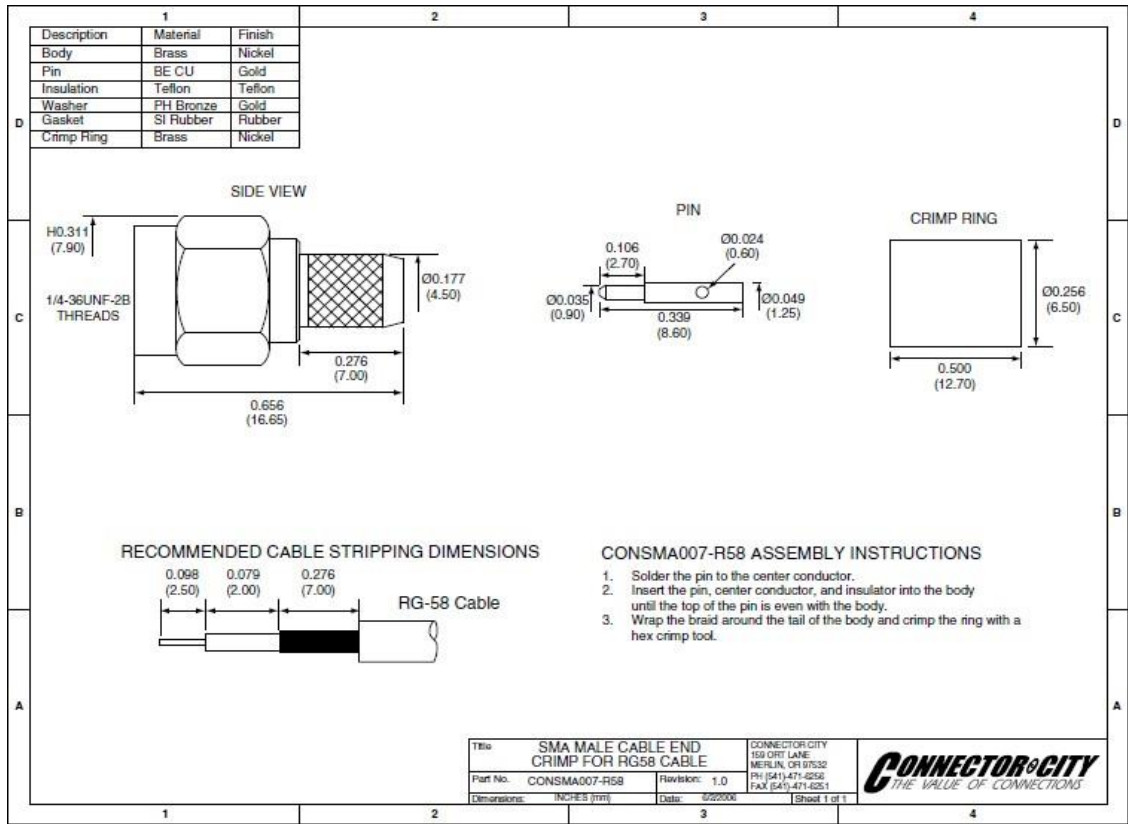
Tabela 32 – Datasheet parcial Antena Wi-Fi Taoglass, projeto esquemático.



Fonte: (Adaptado de Taoglass Datasheets, 2018).

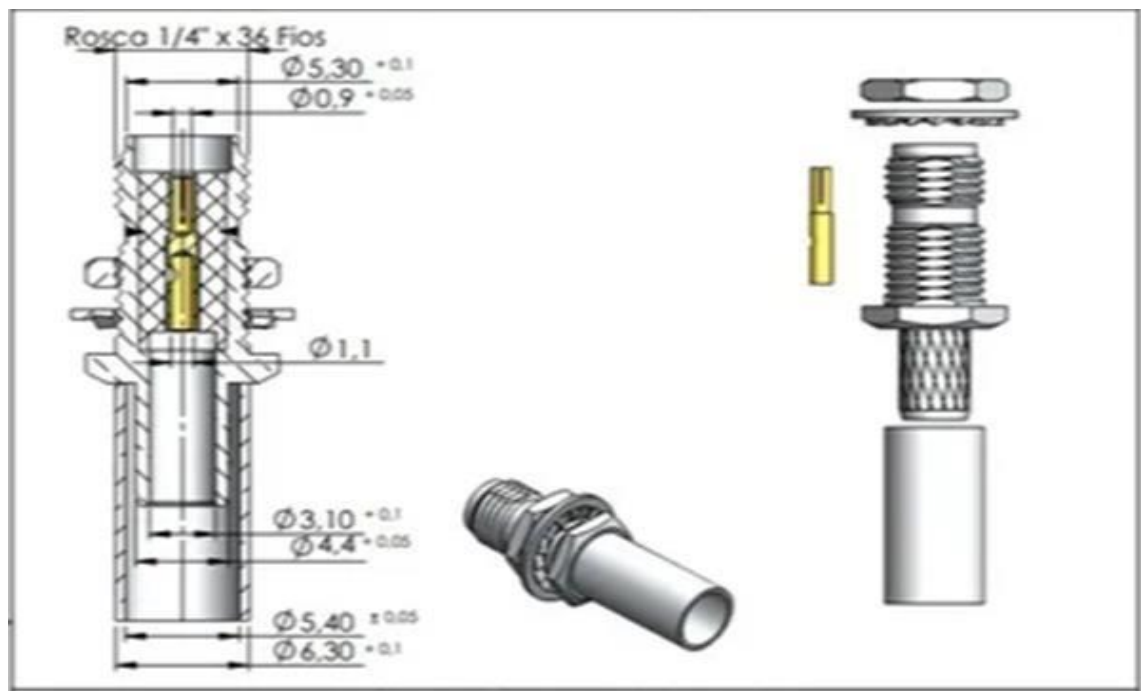
ANEXO B – DATASHEET CONECTOR SMA

Tabela 33 - Datasheet parcial conector SMA, projeto esquemático.



Fonte: (Adaptado de Conector City, 2006).

Tabela 34 - Datasheet parcial estrutura interna conector SMA.



Fonte: (Adaptado de Conector City, 2006).

ANEXO C – RELATÓRIO DE PRODUÇÃO EMPRESA CHINESA

Tabela 35 – Relatório parcial de produção empresa Shenzhen Yetnorson.

1.1 The Competitive Advantage of Product Line				
The company has their own brands.				
1.2 Product Line Description				
GPS Antenna, TV Antenna, 4G Antenna, WIFI Antenna, 5GAntenna				
Product Sample				
1. GPS Antenna	2. GPS Antenna	3. TV Antenna		
				
4. 4G Antenna	5. WIFI Antenna	6.5GAntenna		
				
1.3 Production Capacity				
Production Line Capacity		Actual Units Produced (Previous 12 months)		
GPS Antenna: 100,000 Pcs / Month, TV Antenna: 200,000 Pcs / Month, 4G Antenna: 150,000 Pcs / Month, WIFI Antenna: 380,000 Pcs / Month, 5G Antenna: 40,000 Pcs / Month		GPS Antenna:900,000 Pcs, TV Antenna: 1,800,000 Pcs, 4G Antenna: 1,050,000 Pcs, WIFI Antenna: 2,800,000 Pcs, 5G Antenna: 360,000 Pcs		
Number of Product Categories		Number of Product Models		
10		1,000		
1.4 Production Machinery				
Machine Name	Brand & Model No.	Quantity	Number of Year(s) Used	Condition
Semi-automatic Cutting Wire Machine	N/A	4	6	Acceptable
Cutting Wire Machine	MY	2	6	Acceptable
Cutting Tube Machine	N/A	1	6	Acceptable

Fonte: (Adaptado de Shenzhen Yetnorson, 2020)

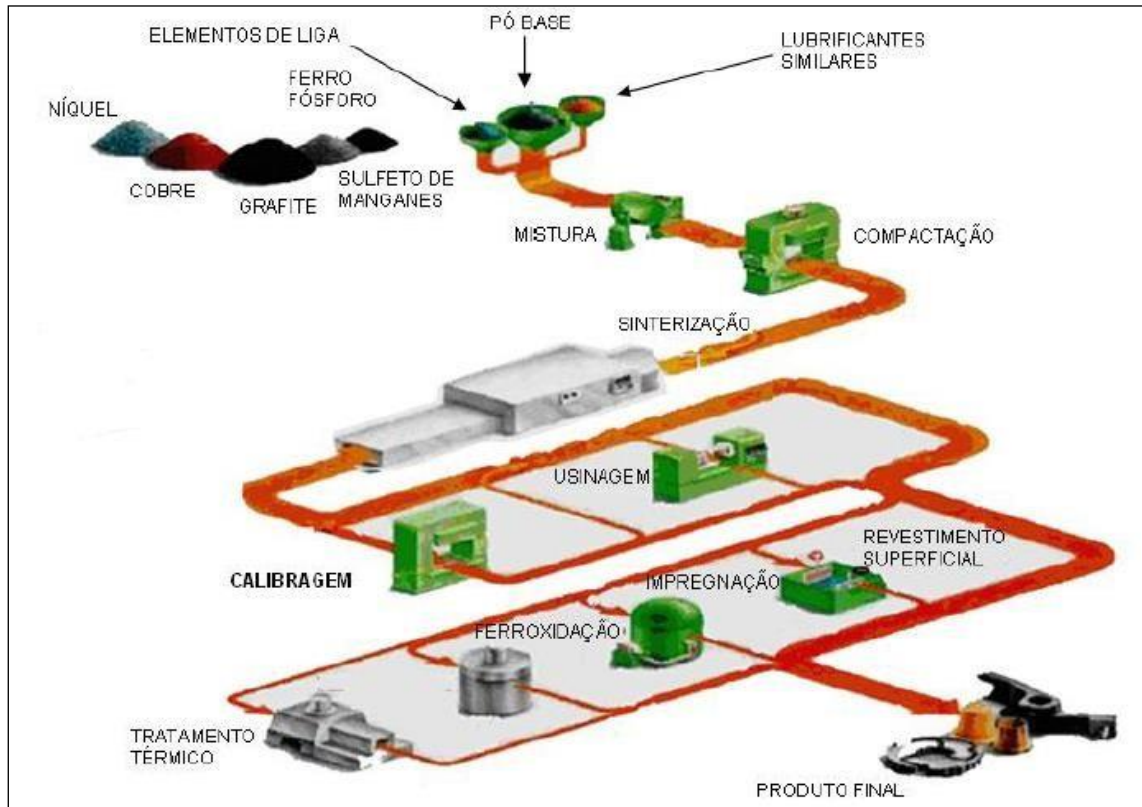
Tabela 36 – Continuação relatório parcial de produção empresa Shenzhen Yetnorson.

Automatic Wire Cutting and Winding Machine	Jishuang	1	2	Good
Crimping Pliers	N/A	7	5	Acceptable
Automatic Winding Machine	N/A	4	5	Acceptable
Supersonic Welding Machine	BL11-6H	5	6	Acceptable
Winding Machine	TNX-SB045	2	6	Acceptable
Injection Machine	N/A	4	6	Acceptable
Mute Terminal	N/A	2	2	Acceptable
Punching Machine	N/A	8	4	Acceptable
Automatic Screwing Machine	N/A	1	3	Acceptable
Semi-automatic Cutting Wire Machine	Cutting Wire Machine		Cutting Tube Machine	
				
Automatic Wire Cutting and Winding Machine	Crimping Pliers		Automatic Winding Machine	
				
Supersonic Welding Machine	Winding Machine		Injection Machine	
				
Mute Terminal	Punching Machine		Automatic Screwing Machine	
				

Fonte: (Adaptado de Shenzhen Yetnorson, 2020).

ANEXO D – PROCESSO DE PRODUÇÃO BÁSICO DE METAIS

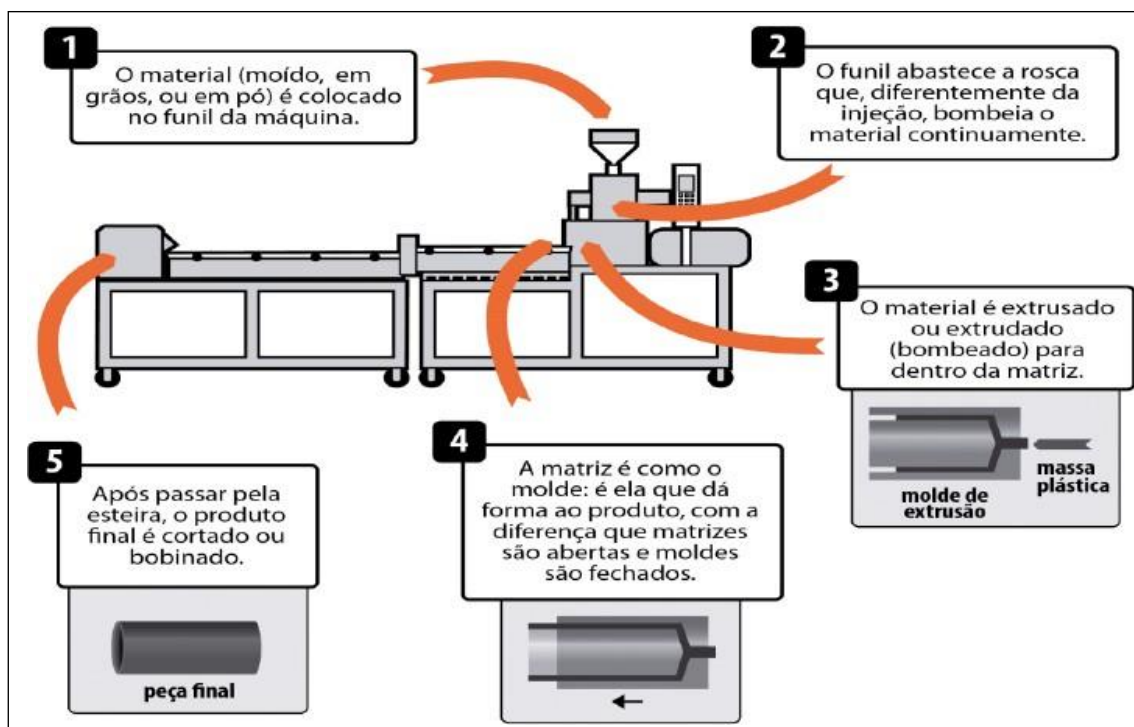
Tabela 37 – Processo de produção básico para metais cobre, zinco, latão e ligas de alumínio.



Fonte: (Adaptado de Metalurgia do pó IFSC, 2009).

ANEXO E – PROCESSO DE EXTRUSÃO PARA POLÍMEROS

Tabela 38 – Processo de extrusão para plásticos.



Fonte: (Adaptado de extrusão de perfis termoplásticos FIERGS SENAI, 2011).