

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CÂMPUS EXPERIMENTAL DE SÃO JOÃO DA BOA VISTA
BACHARELADO EM ENGENHARIA ELETRÔNICA E DE TELECOMUNICAÇÕES

CAIO HENRIQUE TEIXEIRA ALBERTO

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE UMA ANTENA WI-FI

SÃO JOÃO DA BOA VISTA/SP

2020

CAIO HENRIQUE TEIXEIRA ALBERTO

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE UMA ANTENA WI-FI

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita
Filho” como requisito para obtenção de título de
Bacharel em Engenharia Eletrônica e de
Telecomunicações

Orientador: Prof. Dr. José Augusto de Oliveira

SÃO JOÃO DA BOA VISTA/2020

2020

A334a

Alberto, Caio Henrique Teixeira

Avaliação do ciclo de vida de uma antena wi-fi / Caio Henrique
Teixeira Alberto. -- São João da Boa Vista, 2020

66 p. : il., tabs., fotos

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia de
Telecomunicações) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Câmpus
Experimental de São João da Boa Vista, São João da Boa Vista

Orientador: José Augusto de Oliveira

Coorientadora: Miriam Paula dos Santos

1. Antenas (Eletrônica). 2. Avaliação paisagística. 3. Ciclo de vida
do produto. 4. Engenharia ambiental. 5. Telecomunicações. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Câmpus
Experimental de São João da Boa Vista. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CÂMPUS EXPERIMENTAL DE SÃO JOÃO DA BOA VISTA
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELETRÔNICA E DE TELECOMUNICAÇÕES

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE UMA ANTENA WI-FI

Aluno: Caio Henrique Teixeira Alberto
Orientador: Prof. Dr. José Augusto de Oliveira

Banca Examinadora:

- José Augusto de Oliveira (Orientador)
- Mirian Paula dos Santos (Examinadora)
- Rafael Abrantes Penchel (Examinador)

A ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no prontuário do aluno (Expediente nº 05/2020)

DEDICO

Este projeto de pesquisa ao meu padrinho, Dr. Ricardo Contrucci Montañó (in memoriam), a minha tia, Dra. Ana Elisa Teixeira Pasquim (in memoriam) e ao meu avô Sr. Ventura Teixeira Netto (in memoriam), cujas presenças foram essenciais em minha vida.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por não deixar eu desistir de meus objetivos e manter meu foco para sempre conquistá-los, a instituição pela oportunidade do conhecimento, ao meu orientador Profº Dr. José Augusto de Oliveira que forneceu todo suporte necessário para a realização, a Fundação União de Comunicação pelo conhecimento complementar na área de antenas. Agradeço principalmente aos meus pais, meu irmão e minha irmã, por todo incentivo durante os anos de faculdade.

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”.

(Marthin Luther King)

RESUMO

A pesquisa aplicou a técnica Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) em uma Antena Wi-fi com faixa de frequência de 2,4GHz/5,8GHz e 5dBi, com o objetivo de avaliar os impactos ambientais no ciclo de vida deste produto. O processo foi baseado nas normas técnicas ABNT 14040 (2009) e 14044 (2009). Num primeiro momento a antena utilizada foi desmontada minuciosamente e cada uma de suas peças foram pesadas e caracterizadas em relação aos materiais que compunham suas estruturas com o auxílio de artigos científicos e datasheets. Processos para a elaboração e construção específicos de cada peça foram pesquisados, além da energia necessária correspondente ao processo de fabricação de determinado valor de massa e ao formato da peça. Todas essas etapas correspondem ao Inventário do Ciclo de Vida (ICV), da Antena Wi-fi estudada. Após esses procedimentos, as entradas obtidas foram inseridas no software GaBi, utilizando a metodologia CML 2001, onde suas categorias de impactos avaliaram qual componente pertencente a um sub-processo específico era causador de possíveis danos ao meio ambiente. Essa etapa é nomeada Avaliação do Inventário do Ciclo de Vida (AICV). As principais categorias de impactos identificadas foram GWP (Global Potential Warming), e as principais etapas do ciclo de vida da antena em termos de impactos ambientais identificadas na produção dos polímeros que compõem a parte estrutural.

PALAVRAS-CHAVE: Avaliação do Ciclo de Vida. Antena Wi-fi. Cobre. TPU. Bobina

ABSTRACT

The research applied the Life Cycle Assessment (LCA) technique on a Wi-Fi Antenna with a frequency range of 2.4GHz / 5.8GHz and 5dBi, in order to assess the environmental impacts in the life cycle of this product. The process was based on technical standards ABNT 14040 (2009) and 14044 (2009). At first, the antenna used was carefully disassembled and each of its parts were weighed and characterized in relation to the materials that made up its structures with the help of scientific articles and datasheets. Processes for the elaboration and construction specific to each piece were researched, in addition to the necessary energy corresponding to the manufacturing process of a given mass value and the shape of the piece. All of these steps correspond to the Life Cycle Inventory (ICV), of the studied Wi-Fi Antenna. After these procedures, the obtained entries were inserted in the GaBi software, using the CML 2001 methodology, where its impact categories evaluated which component belonging to a specific sub-process was the cause of possible damage to the environment. This step is called Life Cycle Inventory Assessment (AICV). The main categories of impacts identified were GWP (Global Potential Warming), and the main stages of the antenna's life cycle in terms of environmental impacts identified in the production of the polymers that make up the structural part.

KEYWORDS: Life Cycle Assessment. Wi-fi Antenna. Copper. TPU. Coil

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Exemplos de Selo Verde para empresas.	24
Figura 2 – Desenho esquemático da estrutura interna do filamento irradiador e bobina.	32
Figura 3 – Estrutura interna da Antena Wi-fi.	32
Figura 4 - Fluxograma AICV.	34
Figura 5 – Interface software Gabi, processo de produção Antena Wi-fi	40
Figura 6 – Plano de produção filamento bobina de cobre.	41
Figura 7 - Gráfico comparativo filamento interno	43
Figura 8 - Gráfico comparativo estrutura externa.	44
Figura 9 - Gráfico comparativo conector SMA.....	45
Figura 10 - Gráfico comparativo, subprocessos Antena Wi-fi.	46
Figura 11 - Gráfico, estimativa de CO2.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Processos específicos, recursos e montagem.	31
Tabela 2 - Categorias de impactos ambientais apresentadas no CML 2001.	37
Tabela 3 - Tabela de resultados do filamento interno da estrutura da Antena Wi-fi.	42
Tabela 4 – Tabela de resultados da estrutura externa da Antena Wi-fi.	43
Tabela 5 – Tabela de resultados do conector SMA da Antena Wi-fi.	45
Tabela 6 – Tabela de resultados total da Antena Wi-fi.	47
Tabela 7 – Pesos dos componentes em laboratório.	56
Tabela 8 – Energias calculadas na fabricação dos componentes.	57
Tabela 9 – Resultados metodologia Environmental Footprint 2.0.	58
Tabela 10 – Resultados metodologia Recipe 2016 v1.1 Midpoint (H).	58
Tabela 11 – Resultados metodologia TRACI 2.1.	59
Tabela 12 – Datasheet parcial Antena Wi-fi Taoglass.	60
Tabela 13 – Datasheet parcial Antena Wi-fi Taoglass, caracterização.	61
Tabela 14 – Datasheet parcial Antena Wi-fi Taoglass, projeto esquemático.	62
Tabela 15 - Datasheet parcial conector SMA, projeto esquemático.	63
Tabela 16 - Datasheet parcial estrutura interna conector SMA.	63
Tabela 17 – Relatório parcial de produção empresa Shenzhen Yetnorson.	64
Tabela 18 – Continuação relatório parcial de produção empresa Shenzhen Yetnorson.	65
Tabela 19 – Processo de produção básico para metais cobre, zinco, latão e ligas de alumínio.	66
Tabela 20 – Processo de extrusão para plásticos.	67

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABAL	Associação Brasileira do Alumínio
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRADISTI	Associação Brasileira da Distribuição de Produtos e Serviços de Tecnologia da Informação
ABS	Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
AICV	Avaliação do Inventário do Ciclo de Vida
ASLRE	Acordo Setorial de Logística Reversa de Eletroeletrônicos
ASSESPRO	Associações das Empresas Brasileiras de Tecnologia da Informação
CAST	Center for Advanced and Sustainable Technologies
CH ₄	Metano
CO ₂	Dióxido de Carbono
CPqD	Centro de Pesquisa e Desenvolvimento
ERB	Estações Rádio Base
FTTH	Fiber to the Home
FTTO	Fiber to the Office
FTTX	Fiber to the X
FWA	Fixed Wireless Access
GREEN ELETRON	Gestora para Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos Nacional
GWP	Potencial de Aquecimento Global
H ₂ SO ₄	Ácido Sulfúrico
HNO ₃	Ácido Nítrico
IBAMA	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBDN	Instituto Brasileiro de Defesa da Natureza
ICV	Inventário do Ciclo de Vida
ILCD	International Reference Life Cycle Data System

IOT	Internet of Things
IRPA	International Radiation and Protection Association
MJ	Megajoules
N	Nitrogênio
NBR	Norma Técnica Brasileira
NO ₂	Dióxido de Nitrogênio
OIT	Organização Internacional do Trabalho
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organizações das Nações Unidas
P	Fósforo
PAD	Plásticos Ambientalmente Degradáveis
PB	Polibutadieno
PCs	Personal Computer
PC	Policarbonato
PDP	Planejamento e Desenvolvimento do Produto
PE	Polietileno
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PTFE	Politetrafluoretileno
PU	Poliuretano
REEE	Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos
SMA	Subminiature version A
SO ₂	Dióxido de Enxofre
TPU	Termoplástico Poliuretano
Wi-fi	Wireless Fidelity
WLAN	Wireless Local Area Network

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Contextualização do modelo wi-fi.....	14
1.2 Padronização IEEE 802.11	15
1.3 Topologia e estrutura de rede.....	16
1.4 Estruturas de antenas wi-fi, funcionamento e aplicações	16
1.5 Impactos ambientais provocados por antenas	18
1.6 Objetivos.....	22
1.7 Problematização e justificativas	23
1.8 Estrutura do trabalho	26
2 MÉTODO DE PESQUISA	27
2.1 Objetivo e escopo	27
2.2 Análise do inventário do ciclo de vida.....	27
2.3 Aquisição de matéria prima	28
2.4 Processos e componentes.....	29
2.5 Avaliação de impacto do ciclo de vida	33
2.6 Definição de categoria de impacto	35
3 RESULTADOS DAS COMPONENTES DA ANTENA WI-FI	40
4 CONCLUSÕES.....	50
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52
APÊNDICE A – INVENTÁRIO DOS MATERIAIS CARACTERIZADOS	56
APÊNDICE B – ENERGIA UTILIZADA.....	57
APÊNDICE C – RESULTADOS DE OUTRAS METODOLOGIAS	58
ANEXO A – DATASHEET ANTENA WI-FI	60
ANEXO B – DATASHEET CONECTOR SMA.....	63
ANEXO C – RELATÓRIO DE PRODUÇÃO EMPRESA CHINESA	64
ANEXO D – PROCESSO DE PRODUÇÃO BÁSICO DE METAIS	66
ANEXO E – PROCESSO DE EXTRUSÃO PARA POLÍMEROS	67

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO MODELO WI-FI

Nascida na década de 90, criada por um grupo de pesquisa constituído por membros pertencentes ao IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), com objetivo de criar uma padronização no sentido de tornar presente na realidade a tecnologia sem fio, além de buscar a saída do projeto do papel para a existência. Denominado padrão IEEE 802.11, distinguia perante as tecnologias do momento por sua elevada taxa de transferência de dados atingindo a casa dos Mbps, possibilitando a tecnologia ser vista de uma forma promissora além de trazer mais investimentos para estudos e construção dos equipamentos pertencentes a rede sem fio (GARCIA, 2020).

Atualmente, redes locais de computadores são as mais focalizadas em destaque tanto em soluções proprietárias (quando as empresas utilizam padrões próprios) quanto nos padrões IEEE. As denominadas redes WLAN (Wireless Local Area Network), passaram em seus primórdios no início da tecnologia sem fio por duas distinções em relação aos padrões. Empresas como IBM, CISCO, entre outras utilizavam padrões próprios criados conforme suas necessidades. Atualmente essas e outras empresas, buscam utilizar os padrões IEEE devido as vantagens oferecidas como demanda de mercado, custo reduzido, troca de informações além de alta confiança nos projetos (GARCIA, 2020).

Em relação a arquitetura de rede, o padrão IEEE 802.11 está relacionado as redes WLAN através de duas camadas: física e enlace. Na camada física, sistemas como frequência de rádio e infravermelho e também microondas e laser. Na camada de enlace, foi estabelecido o protocolo MAC (Controle de Acesso ao Meio) relativamente semelhante protocolo CSMA/CD utilizado em redes Ethernet. Em relação a transmissão de dados, o mínimo obrigatório que deve ser oferecido aos clientes é 1 Mbps, dependendo podendo chegar a 2 Mbps. Empresas necessitam de taxas mais elevadas, devido a demanda de informações, surgia a padronização IEEE 802.11b (GARCIA, 2020).

O IEEE 802.11b, utiliza a mesma tecnologia e arquitetura presentes na primeira versão, modificando apenas as taxas de transferência de dados que após passarem por investimentos e estudos na área, começaram a oferecer taxas entre 5 e 11 Mbps. Esse crescimento, possibilitou maiores pesquisas através de comunidades científicas que buscaram oferecer tecnologias e produtos mais avançados para as estruturas pertencentes a rede (GARCIA, 2020).

Além dos padrões citados acima, alguns outros podem ser mencionados. Ambos foram criados conforme a necessidade presente do momento. A tendência, é que cada vez mais redes sem fio sejam implantadas e redes com fio sejam substituídas, afinal redes sem fio e fibra óptica são as tecnologias do futuro (TENEMBAUM, 2011).

1.2 PADRONIZAÇÃO IEEE 802.11

Conforme dito anteriormente, a padronização IEEE 802.11 distinguia em relação as tecnologias do momento, devido as taxas elevadas. Conforme a necessidade de empresas, o padrão IEEE 802.11b foi criado, elevando ainda mais as taxas além de oferecer maiores estudos para a área que conforme o tempo, foi crescendo até se tornar o que é atualmente. Porém, o IEEE não parou no 802.11b, e mais padrões foram desenvolvidos ou continuam em desenvolvimento.

IEEE 802.11a: a padronização inicial basicamente possui duas camadas (enlace e física) utilizando como frequência 5GHz. Taxas de transferência de dados entre 1 e 2 Mbps (MENESES, 2009).

IEEE 802.11b: inicia-se com uma maior estrutura WLAN utilizada atualmente. Características como implementação de sistema de rádio e especificações de segurança começam a estar presentes nessa padronização. Utilização do protocolo WEP (Wired Equivalency Privacy), além de trabalhar na banda ISM (Industrial Scientific and Medical) em 2,4 GHz e taxa de transferência de dados de 11 Mbps. IEEE regulamentou e aprovou mais precisamente em julho de 2003 (MENESES, 2009).

IEEE 802.11g: padronização mais recente em parâmetros de redes sem fio. Continua trabalhando na banda ISM em 2,4 GHz, além de taxas de transferências de dados até 54 Mbps chegando a valores superiores atualmente (MENESES, 2009).

IEEE 802.11e: além de compatibilidade com 802.11a e 802.11b, a tecnologia oferece melhoramentos em relação a capacidade multimídia e aspectos de segurança. Essas melhoras são capazes de oferecer vídeo e áudio *on demand*. Outros tipos, como serviço de acesso de alta velocidade a internet e voz sobre IP denominado VoIP, também estão disponíveis nessa padronização. As tecnologias mencionadas acima, implicam em uma qualidade de serviços elevada, sendo o QoS (Quality of Service) a melhor descrição para o 802.11e (MENESES, 2009).

Algumas padronizações buscam um melhor desenvolvimento em outros protocolos, entre eles pode-se citar o 802.11d que procura desenvolver equipamentos para mercados não

suportados com o protocolo corrente. O 802.11f desenvolve o IAPP (Protocolo de Acesso entre Pontos), o 802.11g procura maiores taxas de transmissão na faixa de 2,4 GHz e o 802.11h desenvolve espectro e gestão de extensões de potência para o 802.11^a (MENESES, 2009).

1.3 TOPOLOGIA E ESTRUTURA DE REDE

Basicamente, alguns tipos de equipamentos devem pertencer a uma rede IEEE 802.11 para classifica-la como tal (TENEMBAUM, 2011). Dentre esses elementos pode-se citar abaixo:

BSS (Basic Service Set): é o espaço pertencente a célula de uma comunicação wireless.

STA (Stations): pequenas estações ligadas entre si que se comunicam no interior de uma BSS.

AP (Access Point): possui como funções, o funcionamento como *bridge* entre as redes wireless e redes tradicionais, também possibilita a comunicação entre estações dentro de uma BSS. Algumas AP podem fazer papel de roteadores por possuírem servidores DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) que facilita na busca de um endereço IP da rede. Esses roteadores utilizam antena helicoidais, que é o produto estudado nesse projeto.

Bridge: faz a função de ponte ou mais precisamente ligação entre redes distintas, exemplo, rede sem fio e rede cabeada.

ESS (Extended Service Set): conjunto de várias células BSS próximas onde os AP de ambas permanecem conectados a uma mesma rede, possibilitando uma STA movimentar-se entre BSS de forma que não perca sua conectividade. O processo é conhecido como Roaming.

1.4 ESTRUTURAS DE ANTENAS WI-FI, FUNCIONAMENTO E APLICAÇÕES

Basicamente, uma antena wi-fi pode ser definida através de três subsistemas: filamento interno irradiador, estrutura externa ou casca e conector SMA. Pode-se definir cada subsistema através da composição dos componentes pertencentes ou em relação ao funcionamento de cada parte da antena wi-fi. Em relação a estrutura externa, percebe-se que toda sua composição é fabricada utilizando combustíveis fósseis não renováveis, originando componentes a base de TPU (Termoplástico Poliuretano) e ABS + PC (Acrilonitrilo Butadieno Estireno e

Polycarbonato) onde a junção dos três polímeros produz uma estrutura externa resistente e ao mesmo tempo maleável.

O filamento interno irradiador é formado dos mais variados metais, entre eles pode-se citar o cobre que compõe a bobina e a maior parte do filamento irradiador. Também estão presentes nesse subsistema metais como latão e alumínio. O latão por ser um metal de baixo custo, mais precisamente uma liga pertencente ao cobre misturado com zinco, além de ser muito resistente. O alumínio compõe a parte de malhas a base de fios de alumínio, presente na proteção de componentes internos.

Por último, tem-se o conector SMA que utiliza tanto metais quanto polímeros na composição de seus componentes. A estrutura externa do SMA é fabricada a base de latão, sendo o teflon seu preenchimento fazendo a função de dielétrico. No interior do teflon, está presente um pequeno tubo a base de bronze que desempenha a função conectiva do conector SMA.

A princípio as antenas wi-fi utilizam ondas eletromagnéticas como meio de comunicação e transporte de informação (POZAR, 2011). O instrumento equipado com essa antena, pode variar desde um roteador até uma televisão com o intuito de transmitir aos telespectadores as informações armazenadas na internet. Para o caso do roteador, uma pequena peça em sua estrutura conhecida como adaptador de rede recebe os sinais que passam por um processo de decodificação. Após esse processo ser concluído, esses sinais são emitidos pela antena a algum dispositivo que irá recebê-los (celular, televisão, notebook, etc.) (BALANIS, 2014).

Quando mencionam-se antenas wi-fi, a primeira aplicação que se nota é a comunicação sem fio, porém outras aplicações podem ser mencionadas tanto nos aspectos nacionais quanto internacionais. No Brasil, país onde as principais atividades estão relacionadas ao agronegócio, grande exportador de *commodities*, outra aplicação está relacionada a automação de maquinários em processos agrícolas. As lavouras do país estão cada vez mais modernizadas, com uma vasta variedade de sensores como de umidade, acidez do solo, previsão de geada, entre outros que possibilitem a diminuição de futuros prejuízos aos produtores rurais. Em reportagem publicada na revista eletrônica Globo Rural no dia 6 de julho de 2020, a utilização de tecnologias de monitoramento em safras de soja pelo país reduziu em cerca de 40% os custos de produção na lavoura, custos esses que podem ser investidos em outras questões no agronegócio.

A empresa responsável pelas tecnologias implantadas e monitoramento no caso foi a NetWord Agro, empresa que atua no cenário nacional como monitoramento de todos os tipos de solos e lavouras contra prevenção de pragas e adversidades do clima. Segundo dados da empresa, os monitoramentos impactaram positivamente em relação à economia de recursos

utilizados em uma produção agrícola normal. Diante disso, estatísticas apresentadas em relatórios de monitoramento informam que houve uma economia no custeio de defensivos e fertilizantes apenas com monitoramentos controlados a distância por sensores e drones, deixando a produção mais sustentável e não agredindo o solo e o meio ambiente.¹

Em conformidade, com os relatórios apresentados em sua plataforma, outra estimativa importante, é que mais de 1,2 milhões de litros de água foram economizados, poupando abertura de novos poços artesianos, alagamentos de áreas para açudes ou deslocamentos de rios e riachos. Ademais, fora informado que não houve a utilização nas produções de 20 mil litros de diesel, calculando em bases a estimativa é de que 360 mil horas de máquinas ligadas nas lavouras, bem como que não foram necessárias na presença de monitoramentos. Com isso, todos esses avanços se deram a um monitoramento de milhares de sensores, transmissores e receptores controlados a distâncias por Antenas Wi-fi.

Uma outra aplicação de pouca divulgação devido à complexidade do procedimento e a quantidade mínima de vezes que foram realizadas como alternativa, mas de grande importância na área médica são as cirurgias a distância, também conhecidas como telecirurgias. A primeira telecirurgia que se tem registro foi feita em 1998, a uma distância aproximada de 8350 km em linha reta entre os Estados Unidos e a Áustria. Em outubro de 2016, a segunda telecirurgia realizada foi feita no Brasil, mais precisamente no Hospital Sírio-Libânes em São Paulo. Essa cirurgia só foi possibilitada devido a uma internet de altíssima velocidade e qualidade. O robô do tipo AESOP foi montado na sala de cirurgia do hospital paulistano, porém comandado via internet pelo médico Louis Kavoussi em um hospital na cidade de Baltimore nos Estados Unidos.

1.5 IMPACTOS AMBIENTAIS PROVOCADOS POR ANTENAS

Num primeiro momento, em relação ao objetivo do trabalho a ACV de uma Antena Wi-fi, serão analisados a composição de materiais utilizados na fabricação desse tipo de antena. Em seguida uma breve análise de como esses materiais causam impactos ambientais, além de impactos causados pela radiação emitida das antenas. Para a caracterização dos materiais da antena, foram utilizados *datasheets* e a base de dados de materiais Matweb, utilizada em disciplinas de Engenharia de Materiais.

No caso da Antena wi-fi estudada, os materiais caracterizados durante a pesquisa se encontram abaixo:

- Cobre: material de extrema importância nas telecomunicações pela excelente utilização na parte de transmissão. Possui condutividade térmica elevada, ductibilidade alta, ótima resistência a efeitos corrosivos. Suas ligas mais conhecidas estão relacionadas ao cobre puro, latão e bronze (suas variações dependem das concentrações de outros metais em suas ligas). Os setores de maiores demandas de cobre estão ligados a construção civil e eletroeletrônicos (MATWEB, 2020).
- Latão: esse tipo de material é uma liga pertencente ao cobre. Quando misturado ao cobre, o zinco forma o latão. A influência do zinco também permite aumento de resistência, reforço da ductibilidade, diminuição do ponto de fusão do material além de diminuição no custo. Dependendo da porcentagem de zinco misturado ao cobre, é possível obter diferentes combinações de latão para diversas finalidades, abaixo segue alguns tipos de latão (MATWEB, 2020).

a) 5% de Zn: latão dourado, usado em medalhas, grande resistência a corrosão.

b) 15% de Zn: latão vermelho, utilizado em canalizações, joias e decorativos.

c) Até 34% de Zn: latão amarelo, utilizado em parafusos, porcas, rebites.

A partir de 35% de Zn na liga, a ductibilidade já não é a mesma do início, bem menor do que no começo da mistura.

d) 40% de Zn: metal conhecido como Muntz, utilizado muito em maquinação.

e) Acima de 40% de Zn: latão naval, muito resistente a corrosão e outras avarias. provocadas pela maresia.

- Zinco: conhecido por ser um metal de transição, esse metal é muito utilizado na produção de ligas metálicas como o latão e o bronze. Outras aplicações estão relacionadas a produção de telhas e calhas residenciais e preservação do ferro contra agentes corrosivos, porém sua aplicação mais conhecida está ligada a produção de pilhas e baterias (MATWEB, 2020).

- Alumínio: de origem proveniente da bauxita, o alumínio está presente em grande parte no cotidiano. É considerado um metal leve, de fácil modelagem e resistente. É um metal muito maleável e de grande ductibilidade. Possui grande resistência a corrosão e durabilidade, deve-se a camada de oxido protetora presente em sua estrutura. Dentre suas principais aplicações podemos citar a presença de alumínio nas estruturas de meios de transportes (aviões, barcos, automóveis entre outros), embalagens (papel alumínio para alimentos, latas para conservas e refrigerantes), construção civil, utensílios de casa e também presente na transmissão elétrica (MATWEB, 2020).
- Fósforo de bronze: é praticamente idêntico ao bronze regular, porém uma pequena quantidade de fósforo na mistura diferencia o do bronze comum (liga pertencente ao cobre). Essa adição de fósforo permite maior durabilidade ao bronze, deixando o material mais rígido. Esse tipo de material é muito encontrado em conectores eletrônicos e cordas de instrumentos, porém é um material pouco conhecido (MATWEB, 2020).
- Politetrafluoretileno (Téflon): esse tipo de material pertencente a classe dos polímeros, mais precisamente aos polímeros sintéticos. Seu nome científico é conhecido como Politetrafluoroetileno. Um material com uma aparência muito parecida com o do plástico, porém uma diferença importante entre os dois deve ser evidenciada, esse material é resistente a altas temperaturas. Muito encontrado como revestimento de panelas antiaderentes por permitir que a comida não se prenda ao material além da resistência a temperatura. O teflon possui como aplicação também como isolante elétrico, sendo encontrado em componentes eletrônicos/elétricos como conectores (MATWEB, 2020).
- Poliuretano (PU): também da classe dos polímeros, este material é produzido da reação de duas substâncias químicas (polióis e isocianatos). Os poliuretanos são conhecidos devido a sua versatilidade e facilidade de atingirem diversas formas. Eles podem ser utilizados como materiais elásticos ou borrachudos ou no formato de espumas, além disso quando estimulados a temperaturas podem admitir um formato rígido também (MATWEB, 2020).
- Poliuretano termoplástico (TPU): também pertencente a classe dos polímeros, dependendo das combinações das substâncias presentes em sua mistura,

este material pode adquirir estrutura rígida ou flexível. Podem estar na presença de elastoméricos (materiais elásticos/borrachudos utilizados para preencher lacunas) ou até plásticos duros. Seu fator de durabilidade depende de três constantes na fabricação (zona de alimentação, zona de compressão e zona de dosagem). Este tipo de material também é conhecido pelas características pertencentes como resistência a solventes, óleos e outros lubrificantes, resistente a ação de microorganismos, rigidez, flexibilidade, termorigidez e termoplasticidade (MATWEB, 2020).

- Policarbonato/Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno (PC+ABS): são dois polímeros, cada qual com suas características que quando combinados formam uma estrutura única. Do ABS tem-se a processabilidade combinada as propriedades mecânicas e resistência térmica do PC. Possui como principais características excelente resistência térmica a impacto de temperaturas baixas, rigidez elevada, boa processabilidade além de permitir coloração e impressão. Tem como aplicações em automóveis e equipamentos eletrônicos (MATWEB, 2020).
- Polibutadieno (Borracha): podendo existir de duas formas, natural ou sintética esse material está muito presente no cotidiano, sendo aplicada de diversas formas. Muito utilizada como isolamento e preenchimento para certos tipos de vedações (MATWEB, 2020).

Na fase de descarte certos materiais descritos acima podem provocar impactos ambientais se descartados erroneamente, como é o caso do Poliuretano muito utilizado no formato de espumas ou esponjas. Como dito anteriormente, esse material possui isocianatos, conhecidos pela excelente volatilidade em temperaturas ambiente onde gases que podem ser prejudiciais à saúde são liberados. Os sintomas são variados após a inalação desse gás, causando irritação em mucosas e vias oculares chegando até a casos de bronquites, asma e edemas pulmonares. Outro problema em relação ao Poliuretano está em sua decomposição no meio ambiente. Por se tratarem de polímeros derivados do petróleo, sofrem uma decomposição lenta e ficam anos vagando nos ecossistemas, um exemplo clássico, são os colchões feitos de espuma de PU que muitas vezes são encontrados em rios e afluentes. Uma solução para esse problema é a utilização de polímeros biodegradáveis, construídos a base de óleos de plantas, dentre eles o óleo de mamona.

O cobre também é outro material causador de grandes problemas ao meio ambiente. Num primeiro momento, a criação e instalação de uma mina de cobre em um cenário natural já é um desastre para o meio ambiente por uma série de motivos. O primeiro grande impacto é a remoção da vegetação natural da área existente, algo que pode contribuir com extinção de plantas e animais silvestres existentes apenas ali ou que já corriam risco de extinção. Num segundo momento, o uso de produtos químicos provoca contaminação de todo tipo de recurso hídrico da região (rios, afluentes, lençóis freáticos e outros), provocando a morte de espécies aquáticas.

Os mesmos produtos químicos que contaminam a água também podem contaminar o solo, o que seria mais um impacto ambiental de alta gravidade. Por fim, dois impactos ambientais que foram protagonistas no cenário nacional nos últimos anos com os rompimentos das barragens nas cidades de Mariana e Brumadinho em Minas Gerais, denominados como proliferação de processos erosivos e sedimentação e poluição de rios. A falta de reparos necessários para a manutenção dessas barragens feitas pelas empresas mineradoras que administravam o local, evidencia o despreparo e a negligência aos cuidados necessários com o cuidado da área utilizada para a extração dos minérios.

Na fase de uso do produto, esses materiais não chegam a causar impactos ambientais, por estarem juntos e conectados formando a estrutura da Antena Wi-fi, porém cada um deles podem sim causar um impacto quando descartados separadamente no meio ambiente. Nesse momento a análise dos impactos ambientais, busca também um estudo de possíveis impactos quando o produto está na fase de uso, nesse caso, a antena funcionando na residência e desempenhando seu papel na transmissão de informações. A grande maioria de estudos encontrados na literatura de impactos causados pro antenas, estão relacionados a radiação ionizante na fase de uso. Esse trabalho tem o intuito de preencher uma lacuna na fase de produção.

1.6 OBJETIVOS

Essa pesquisa tem como objetivo principal avaliar os impactos ambientais causados por uma Antena Wi-fi em seu ciclo de vida. Para isto, alguns objetivos específicos foram traçados como metas, afim de concluir o principal propósito.

- Análise da estrutura e componentes da Antena em laboratório;
- Caracterização dos materiais e processos utilizados em produção;
- Desenvolvimento do Inventário do Ciclo de Vida (ICV) da antena wi-fi;
- Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV) da antena wi-fi; e
- Conclusões e possíveis soluções a partir dos resultados obtidos;

Concluídos os objetivos específicos, será possível também a conclusão do objetivo principal. A proposta de possíveis soluções para diminuir os impactos causados em produção também é de grande importância para esta pesquisa.

1.7 PROBLEMATIZAÇÃO E JUSTIFICATIVAS

Preliminarmente, o desenvolvimento desta pesquisa baseou-se em um instrumento de grande utilidade no cotidiano, além de estar presente nas mais variadas localidades como empresas, comércio, residências entre outros. Diante disso, o produto escolhido pode-se apresentar resultados de impactos causados pela produção em massa e o descarte incorreto, gerando uma conscientização de grande importância à sociedade.

Para as pesquisas em telecomunicações, também será um grande avanço para a área que cada vez mais vêm buscando soluções quanto as questões ambientais além de oferecer um estudo crítico para a literatura que está em falta até o presente momento. Por se tratar de uma área onde seus componentes são produzidos dos materiais mais distintos possíveis, uma classificação mais crítica quanto a produção, descarte e impactos causados por esses materiais também é um dos objetivos dessa pesquisa.

O papel das antenas wi-fi nas telecomunicações possui grande relevância em vários sentidos, onde são responsáveis pela transmissão a recepção de diversas informações todos os dias. Salienta-se, que o mercado relacionado a rede Wi-fi em 2016, atingiu mundialmente valores superiores a 5 bilhões de dólares, com tendência de crescimento para 15 bilhões de dólares em 2022, tendo em vista vastos investimentos em maiores alcances em todas as áreas do globo (MARKETS and MARKETS, 2020).

Outro avanço desse projeto para a área possui relação com a falta de pesquisas ambientais envolvendo a técnica estudada a produtos eletroeletrônicos. Em buscas na literatura e fontes de informação não foram encontrados indícios de pesquisas utilizando ACV em antenas wi-fi, pensando num sentido mais amplo, a falta de estudos utilizando ACV em produtos das telecomunicações é bem alta. Dessa forma, esse estudo busca estimular pesquisadores, alunos e outros entusiasmados pela a área a buscar novas pesquisas relacionadas a produtos das telecomunicações, tendo em vista que a produção de unidades de antenas wi-fi anualmente chega em estimativas de bilhões.

Em relação a produção, a ACV contribui e muito para o setor de Planejamento e Desenvolvimento do Produto (PDP), adequando a exploração e produção de certo material a utilizar substâncias menos agressivas ao meio ambiente. Estimula também o uso de matérias primas menos nocivas, ou de maior facilidade em exploração e que também utilize menos substâncias nesse processo. Na parte de embalagens, os materiais que se degradam mais facilmente no descarte diferente daqueles que podem permanecer na natureza por anos. Na parte de logística, como aquele produto pode ser transportado até o consumidor final, quantidade de combustíveis fósseis utilizados em sua exploração, produção e locomoção até seu destino. É uma infinidade de estudos que a ACV pode complementar para a diminuição de impactos durante a pré e pós produção (FARIA, 2008).

Em relação a sustentabilidade, uma ACV pode auxiliar aquele produto a ser reconhecido perante a concorrência. A procura pelo marketing verde aumenta cada vez mais como diferencial no mercado. Uma linha de produção sustentável, garante reconhecimento como o Selo Verde que procura visibilizar a parceria daquela empresa com o meio ambiente gerando um aumento de vendas. Alguns exemplos de selos verdes podem ser vistos na Figura 1.



Figura 1 - Exemplos de Selo Verde para empresas.

Fonte: (Adaptado IBDN – Instituto Brasileiro de Defesa da Natureza, 2017).

Em relação a pesquisas utilizando a ferramenta ACV nas telecomunicações, mais precisamente em antenas wi-fi, como dito anteriormente não foram encontradas informações que comprovassem essa utilização. A possibilidade mais provável é a grande quantidade de materiais presentes na composição dos mais variados produtos das telecomunicações, contribuindo para uma complexidade muito superior a estudos utilizando ACVs em outras áreas.

Dentre as aplicações da ACV que mais se aproximam de uma antena wi-fi e que seria de grande importância estudos desenvolvidos nesse componente, seriam as baterias de transmissores e receptores das antenas. Além dos materiais presentes em suas estruturas, os materiais armazenados em seu interior como o Zinco e Lítio que são utilizados como fontes de armazenamento de energia nas baterias, podem ser muito prejudiciais dependendo de como são descartados no meio ambiente. Esses tipos de materiais possuem agentes contaminantes causadores de grandes impactos ambientais na água e no solo, como contaminação de lençóis freáticos, riachos, rios e outros, além da contaminação do solo aumentando acidez. Dessa forma, a ACV possui grande aplicação afim de resolver os impactos causados por esse tipo de componente.

Por fim salienta-se, que em buscas na literatura, estudos envolvendo impactos utilizando antenas como produto estudado, foram encontrados durante a fase de uso do produto, sendo a radiação ionizante o destaque entre os estudos. Vale destacar, que este estudo trata-se de um Cradle-to-gate, onde os impactos observados são evidenciados durante a fase de extração, passando pela fase de manufatura e processamento do produto. Conclui-se que esse estudo preencherá uma lacuna pouco analisada no processo de produção de antenas wi-fi nas telecomunicações.

1.8 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho foi organizado nos seguintes capítulos com o intuito de deixar a transparência de todas as etapas do processo de produção de uma unidade de antena wi-fi. Para todos os esclarecimentos, os capítulos foram organizados da seguinte forma:

- Capítulo 1 – Contextualização da tecnologia, problematização e objetivos;
- Capítulo 2 – Métodos utilizados e processamento da antena wi-fi;
- Capítulo 3 – Análise de resultados e explicações;
- Capítulo 4 – Conclusões acerca do processo;
- Capítulo 5 – Referências bibliográficas.

Apêndices e anexos foram inseridos como dados complementares utilizados na pesquisa.

2 MÉTODO DE PESQUISA

2.1 OBJETIVO E ESCOPO

Nessa seção serão abrangidas partes referentes ao ciclo de vida de uma Antena Wi-fi TPLINK de 2,4GHz/5,8GHz e 5 dBi, comumente encontradas no cotidiano em roteadores. O estudo começa desde a extração e aquisição das matérias primas na natureza, passando pela fabricação (maquinários utilizados e processos), uso dos componentes até a formação do produto final como um todo caracterizando um sistema de produto *Cradle-to-Gate*. Por se tratar de uma ACV de um produto único, a unidade funcional é uma Antena Wi-fi TPLINK de 2,4GHz/5,8GHz e 5dBi, composta por um filamento interno e uma bobina a base de cobre. As massas específicas de cada componente e energias utilizadas na produção de cada peça podem ser encontradas no Apêndice A.

Para a realização do estudo, após a separação dos componentes da antena, a análise e classificação de cada material presente foi modelado o sistema de produto e todas as suas etapas no software GaBi Student, licenciada ao Center for Advanced and Sustainable Technologies (CAST), liderado pelo orientador deste trabalho. Com o auxílio de *datasheets* encontrados na literatura, a classificação se torna mais ágil e objetiva afim de impedir que erros aconteçam. Esses *datasheets* podem ser encontrados em anexo. Em relação a quantidade de energia utilizada em maquinários e processos, pesquisas também foram feitas na literatura e podem ser encontrados no Apêndice B e Anexos A, B e C.

2.2 ANÁLISE DO INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA

2.2.1 Significado do ICV

Uma das partes mais importantes de uma ACV, corresponde a análise do ICV. Nessa análise, todos os fluxos definidos no processo (entradas e saídas) em relação a massa de materiais e energia medidas e calculadas são classificadas para serem utilizadas no software. Segundo a ISO 14040 (2009), cada processo fundamental para a produção do produto deve ser classificado em algumas categorias que visam alimentar aquele sistema, tais como:

- Entradas de energia, matérias primas, auxiliares e físicas.

- Produtos, co-produtos e resíduos.
- Descargas de componentes químicos na água e no solo além de emissões de poluentes na atmosfera.
- Outros aspectos ambientais possíveis que tenham relação com o sistema.

Após a classificação dos dados, a definição de processos, fluxos, materiais e energia fica de entendimento mais simples e eficaz a montagem no software.

2.3 AQUISIÇÃO DE MATÉRIA PRIMA

No Brasil, a extração de minérios e produção de metais é vista como algo fundamental para a economia do país. Uma das principais empresas do ramo no cenário nacional e mundial, a Vale S.A. tem como principais atividades a exploração de ferro, manganês, níquel, carvão e cobre, esse último de grande importância para o setor de eletroeletrônicos (Vale S.A., 2020). Em relação ao cobre, a empresa possui operações no Canadá e no Brasil, mais precisamente em Carajás na Mina do Sossego. Dessa produção, segundo a empresa 66 por cento do consumo anual de cobre no mundo é voltado para aplicações e equipamentos elétricos, por seu excelente desempenho na geração e transmissão de energia além de ser utilizado em equipamentos eletroeletrônicos.

Em relação ao transporte desses minérios, a Vale S.A. utiliza os Valemax, uma classe de navio minerador responsável no transporte de grandes toneladas de minério, e que ao longo dos anos conseguiu reduzir a emissão de CO₂ em 35 por cento a menos para cada tonelada transportada, ajudando a diminuir os impactos causados na exploração (Vale S.A., 2020).

Além do cobre, o latão é de extrema importância para em aplicação nos eletroeletrônicos, por ser considerado um metal barato. A aquisição de latão, nada mais é que a fundição do cobre adicionado a uma pequena concentração de zinco que não passe de 20 por cento da concentração da mistura.

O alumínio, segundo metal mais utilizado no mundo perdendo apenas para o ferro (Vale S.A., 2020), também possui sua parcela significativa na composição de equipamentos eletroeletrônicos. Em 2018, segundo a ABAL Associação Brasileira do Alumínio, o Brasil está na sexta posição no ranking de produção do alumínio primário no mundo, ocupa também a quarta posição no ranking de produção de bauxita e a terceira colocação na produção de

alumina. Ainda segundo a associação, no cenário nacional as maiores empresas estão concentradas na região de Minas Gerais, em Poços de Caldas (Alcoa) e Ouro Preto (Novelis), (ABAL, 2018).

Os outros materiais, utilizados na estrutura da antena wi-fi basicamente são polímeros, produzidos pelo mesmo processo denominado extrusão. Esse processo, consiste no material moído em grânulos ou em pó inserido no funil da máquina que está ligado a uma rosca injetora que bombeia o mesmo material continuamente em ciclos seguidos. O material extrudado segue para dentro da matriz, onde passa por um molde que o modela no formato requisitado. Na última etapa, o material já em seu formato final é repassado pela esteira onde finalmente é cortado. Com essa técnica, vários tipos de polímeros podem ser produzidos, entre eles alguns que estão sendo utilizados nesse estudo como o TPU (termoplástico poliuretano), PU (poliuretano), PE (polietileno), ABS+PC (mistura entre acrilonitrila butadieno estireno e policarbonato), PTFE (politetrafluoretileno) e PB (polibutadieno). A representação da técnica descrita segue em anexo E (SANTOS, 2007).

2.4 PROCESSOS E COMPONENTES

Nessa seção, serão definidos os principais componentes da estrutura da antena wi-fi que em laboratório, foram separados minuciosamente, pesados e classificados em relação ao material utilizado em sua composição. Assim também, serão nomeados os processos e maquinários utilizados para a construção de cada componente. Organizand o desse modo, trata-se de uma primeira análise superficial a respeito de possíveis impactos causados por algum componente em específico.

Como não foi possível a realização de uma pesquisa de campo com fabricantes da antena em estudo, o Inventário do Ciclo de Vida (ICV) é composto com as quantidades específicas de materiais, processos, energia utilizada entre outros fatores que influenciam na montagem do produto, foi desenvolvido com base na literatura, em pesquisas de *datasheets* dos componentes específicos e artigos que ofereçam informações a respeito da estrutura interna do produto.

Em relação a energia utilizada para a fabricação de cada peça, os maquinários necessários foram pesquisados com o intuito de utilização de dados como potência, capacidade de produção, consumo entre outros. Dados esses que baseados em características

métricas como massa e comprimento das peças, podem auxiliar nos cálculos necessários para a obtenção da energia utilizada no processo de fabricação da peça específica. Para isto, a equação abaixo foi utilizada para o cálculo do consumo das máquinas em KWh, onde P é a potência da máquina e t é o tempo necessário para a fabricação da peça, bem como a conversão para a unidade MJ (Megajoule), necessária para a entrada no software GaBi. As energias calculadas encontram-se no apêndice B.

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

$$1 KWh = 3,6 MJ$$

Outra importante observação, o componente PTFE conhecido também como teflon não foi encontrado na versão estudantil do *software*. Para não ficar em déficit de massa do componente em relação ao peso total da antena wi-fi, na estrutura montada no software foi inserido um plano de produção do teflon sendo alimentado apenas pela massa correspondente aos componentes específicos do material. Não houve alimentação de energia, maquinário ou processo existente em virtude de não ter sido encontrado na versão estudantil. Na Tabela 1 o material mencionado está marcado por um asterisco, além de todos os outros componentes utilizados com seus respectivos materiais, composições, processos, recursos e a parte específica do produto final.

Tabela 1 - Processos específicos, recursos e montagem.

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
Barra de latão	Latão	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)

Em relação aos outros componentes e suas respectivas composições, todos foram encontrados na base de dados do *software* GaBi. Aos processos inexistentes na base de dados, coube a criação, definindo massas e energias específicas como entradas e saídas, com o intuito de realizar toda uma estrutura e ao final ligar todos os componentes para produzir o produto final, a antena wi-fi.

Por se tratar de um software recente, sua base de dados está vivendo uma expansão e toda contribuição é necessária para que essa base aumente mais. Uma das contribuições desse estudo é justamente essa, em relação a isto todos os processos que não foram achados em sua base de dados foram criados e definitivamente alimentados da forma correta para a aplicação no estudo.

Em relação a estrutura interna, é a parte responsável pelo funcionamento em si da antena wi-fi. Composta pelo filamento irradiador que pode ser fabricado por latão ou cobre,

esse último utilizado com maior frequência por ser um material excelente na propagação de ondas eletromagnéticas para o meio. Além disso, ao filamento se encontra uma bobina feita do mesmo material para garantir resistência ao pequeno circuito. Mais abaixo da estrutura, encontra-se uma pequena espuma a base de PU, utilizada apenas como bucha para sustentação e marcação dentro da casca ou radome. Nas Figuras 2 e 3 abaixo segue estrutura interna na forma de projeto e no modelo real.

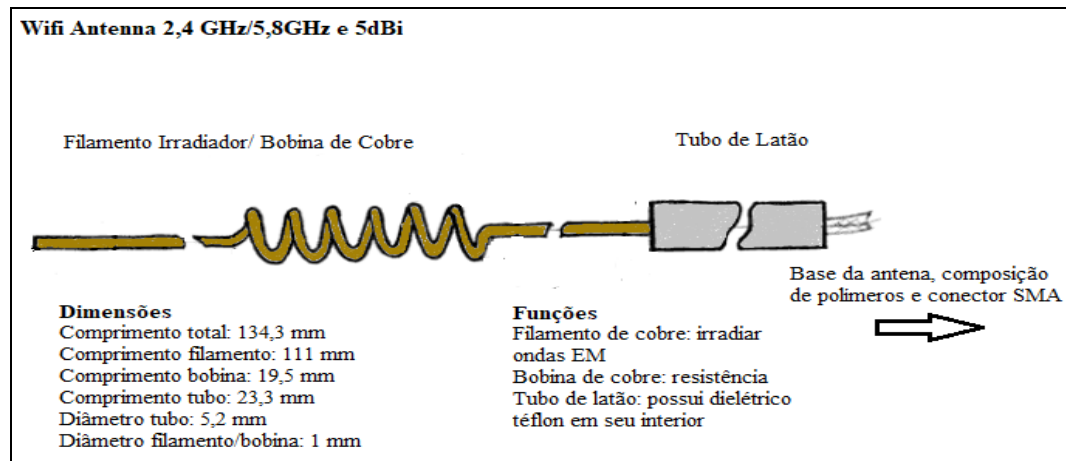


Figura 2 – Desenho esquemático da estrutura interna do filamento irradiador e bobina.

Fonte: (adaptado de D. Skootsone, 2018).

O tubo na extremidade do filamento trata-se de uma pequena barra de latão soldada ao material irradiador seguida por um dielétrico em seu interior, também com o intuito de equilibrar a estrutura no interior da casca. Abaixo, na figura 7 tem-se a representação do mesmo filamento modelo real.

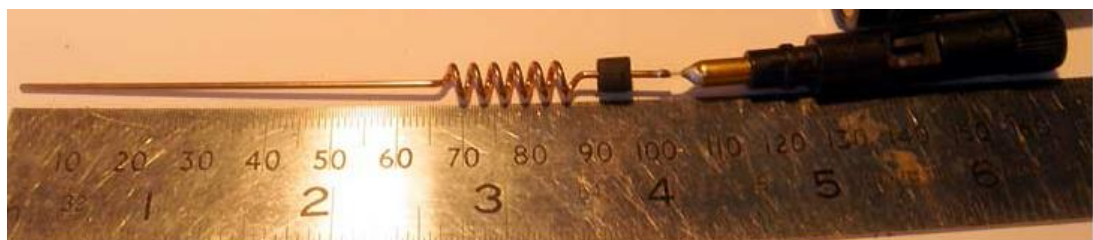


Figura 3 – Estrutura interna da Antena Wi-fi.

Fonte: (próprio autor).

A respeito da estrutura externa apresentada pela antena estudada, um conjunto de polímeros está presente em cem por cento da área externa da casca. A começar pelo radome ou casca da antena que é feito de TPU, um polímero muito utilizado por apresentar característica rígida além de ser facilmente modelado no perfil necessário para o produto.

Logo abaixo, na base envolvendo o conector SMA, tem-se o Policarbonato/Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno mais conhecidos como ABS+PC, dois polímeros que quando misturados formam uma composição de grandes propriedades mecânicas e térmicas vindas do PC além de processabilidade recebida do ABS. A estrutura desse material é realmente muito parecida com a do TPU, porém mais rígida. A utilização desse material na base da antena, tem como finalidade a proteção do conector SMA no interior dessa parte do produto.

O engate plástico formado por dois componentes de ABS+PC, em seu interior está ligado por um pequeno fio composto por malha de alumínio, encapsado com PE. Esse fio, tem a função de ligar um engate a outro, além de garantir a fixação do conector SMA ao filamento irradiador da antena. Sua segunda função, é garantir que um engate dobre através da conexão com o outro com o intuito de melhor posicionamento da antena no roteador.

Por último, mas não menos importante tem-se o conector SMA, composto por latão e em seu interior o dielétrico a base politetrafluoretileno ou teflon (PTFE). O condutor apresentado no meio do dielétrico é composto por um pequeno tubo a base de bronze que pode ou não receber uma camada extra de estanho. Na estrutura externa em si, composta pelo TPU na extremidade da antena, na base o ABS+PC composto pelos dois engates ligados pelo fio de alumínio em seu interior conectado também ao conector SMA. Mais detalhes a respeito desses materiais e componentes são encontrados nos *datasheets* A, B e C em anexo.

2.5 AVALIAÇÃO DE IMPACTO DO CICLO DE VIDA

Após os impactos de um certo produto serem identificados e classificados pelo estudo requisitado, uma próxima etapa pode ser iniciada com o objetivo de analisar uma certa significância dos potenciais desses impactos ambientais. No processo estudado, a associação entre o ICV e impactos específicos já conhecidos pela sociedade é de grande importância também para o melhor entendimento desses potenciais impactos causados pelo produto estudado.

Outra informação de grande importância, segundo a NBR (ISO 14040, 2009) o primeiro passo para toda ACV, se trata de uma escolha correta do objetivo e escopo do estudo. Essa definição, não apenas tem como objetivo iniciar o estudo, mas também ao chegar na fase citada acima, a interação entre os objetivos do estudo e o objetivo e escopo devem estar

ligadas afim de indicar se aquelas metas podem ser alcançadas, caso não ocorra, devem ser modificadas.

Por se tratar de uma fase caracterizada por elementos quantitativos e qualitativos, a AICV pode ser subdividida em subfases para a realização correta dessa divisão do estudo. Abaixo, ainda utilizando a NBR (ISO 14040, 2009) segue as subdivisões destacadas de formas adaptadas.

- As escolhas dos elementos da AICV devem ser nitidamente definidas além da distinção entre eles.
- Como dito anteriormente, a fase de objetivo e escopo da ACV possui relação com cada elemento do AICV, de forma que se mantenham conectadas, porém independentes.
- Inserir avaliações da qualidade em relação as decisões da AICV, também podem ser direcionadas aos elementos dessa fase.
- Outros métodos, procedimentos e atividades da AICV em relação a cada um de seus elementos devem estar sempre em transparência para passar por uma revisão minuciosa.
- Todos os valores utilizados dentro de cada elemento da AICV também devem estar sempre em transparência com o intuito de passarem pela mesma revisão crítica.

Na Figura 8, tem-se o fluxograma representando as fases da AICV destacadas acima.

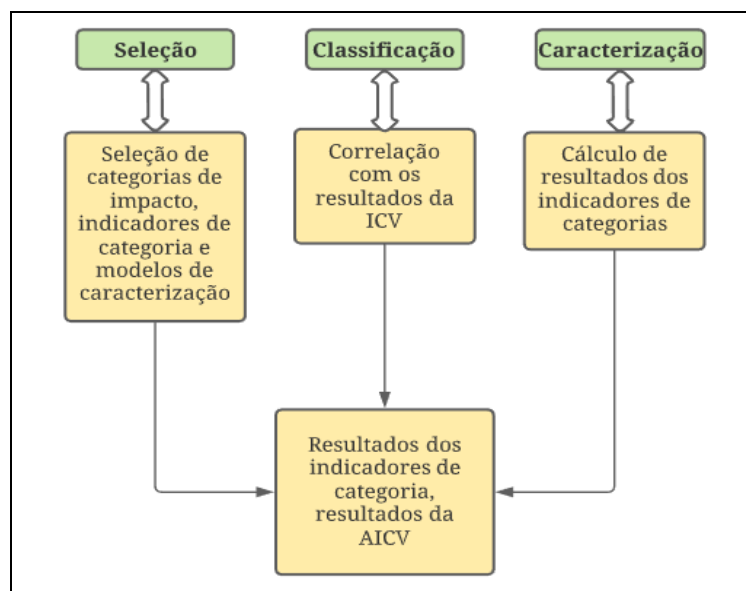


Figura 4 - Fluxograma AICV.

Fonte: (adaptado de NBR ISO 14040, 2009).

2.6 DEFINIÇÃO DE CATEGORIA DE IMPACTO

Em determinado ponto do estudo, a caracterização dos possíveis impactos ambientais é necessária afim de confrontar com os impactos ambientais já conhecidos da sociedade. Utilizando a base de dados do software GaBi, algumas modelagens são fornecidas para a avaliação dos dados inseridos no software. Dentre elas, pode-se destacar as mais usuais para o processo de AICV, o CML 2001 – 2016, Environmental Footprint 2.0, Recipe 2016 v1.1 Midpoint e o Traci 2.1.

Essas modelagens são parâmetros estabelecidos em determinadas regiões do globo utilizadas como medições a respeito de produção e emissão de compostos sólidos, líquidos e gasosos na superfície terrestre, aquática ou do próprio ar. Os resultados dessas modelagens podem ser explicados por mecanismos comuns (exemplo mudança climática) ou impactos já conhecidos (exemplo, acidificação).

O CML 2001 – 2016, tem sua origem no Instituto de Ciências Ambientais da Universidade de Leiden, na Holanda, tendo vários autores distintos por trás dessa metodologia. Seus fatores de normalização estão baseados na União Europeia e no Mundo. Para melhor entendimento, fatores de normalização nada mais são do que cálculos baseados em emissões de substâncias e caracterização por cada substância seguindo o nível daquela região (GaBi, 2018).

O Environmental Footprint 2.0, outra base de dados que possui fatores de normalização da União Europeia teve como intenção de ser projetado para auxiliar os estudos da Product Environmental Footprint (PEF) e Organization Environmental Footprint (OEF). Essa modelagem, possui muitos desenvolvedores, entre eles, outras bases de dados conhecidas no meio acadêmico como a Ecoinvent e a GreenDelta (GaBi, 2018).

Recipe 2016 v1.1 Midpoint, uma terceira metodologia apresentada no software foi criado a partir de duas metodologias conhecidas, o CML 2001 e o Ecoindicator 99. Da primeira metodologia foram utilizadas os pontos médios, da segunda os pontos finais. Os pontos médios como são conhecidos seriam impactos como mudanças climáticas, acidificação, eutrofização por outro lado, os pontos finais seriam danos à saúde humana, disponibilidade de recursos e etc. Por ser a fusão de duas metodologias europeias, seus fatores de normalização são apresentados na Europa. (GaBi, 2018)

Por último, mas não menos importante tem-se a metodologia Traci 2.1 criada pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos. A sigla que traduzidas para o português significa “Ferramenta para a Redução e Avaliação de Químicos e Outros Impactos Ambientais”, torna a ferramenta uma grande ajuda na busca por impactos de ponto médio, ou seja, esse tipo de metodologia consegue classificar o ponto em que cada categoria de impacto passa por uma caracterização. O Traci 2.1 possui em suas categorias de impacto, alguns exemplos como, destruição da camada de ozônio, eutrofização, acidificação, ecotoxicidade, câncer na saúde humana e etc (GaBi, 2018). Por ser americana, a metodologia utiliza os fatos de normalização dos Estados Unidos.

Existem muitas outras metodologias utilizadas para o processo de AICV, porém na literatura, casos aplicados a antenas wi-fi ou qualquer outra variedade na área de antenas não foram encontrados. Em relação há outros produtos das telecomunicações, alguns artigos foram encontrados que pode auxiliar na escolha do melhor método para a apuração correta dos resultados.

O primeiro estudo, de grande importância trata de uma ACV aplicada aos cabamentos utilizados em telecomunicações, metálico e óptico. Segundo o autor, Sirney Silveira em ACV aplicada a cabos de telecomunicações, o método EDIP e o método CML foram utilizados no processo de AICV em relação a intervenções ambientais no local de produção e análise do produto.

O segundo estudo aplicado na área, trata de uma ACV aplicada a gestão de resíduos eletroeletrônicos no Brasil. A pesquisa teve como base para o processo de AICV a metodologia do banco de dados Ecoinvent e o motivo para o uso em específico, trata-se da vasta quantidade de processos oferecidos além da padronização pelo Ecospol onde o formato, pode ser carregado em diferentes softwares espalhados pelo globo (GUIMARÃES, 2013).

Devido a esses estudos encontrados na literatura, foi constatado que há uma relação do método EDIP com o método CML 2001, onde o primeiro método serviu como uma base para a criação do segundo. Outra constatação, foi a utilização de metodologias europeias em estudos aplicados a produtos das telecomunicações, o que faz da metodologia CML 2001 apresentada no software GaBi correta para a apuração dos resultados (MENDES, 2013).

Após a escolha da metodologia utilizada para a apuração dos resultados do AICV, dentre as fornecidas pelo software GaBi, para melhor entendimento algumas categorias de

impactos foram definidas a seguir para a compreensão da ACV aplicada a antena wi-fi. Na Tabela 2, estão apresentadas as seguintes categorias de impacto utilizadas no CML 2001.

Tabela 2 - Categorias de impactos ambientais apresentadas no CML 2001.

	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.
	GWP 100, excl bio. C, incl LUC	Potencial de aquecimento global (GWP 100), excl bio. C, incl LUC, sem norma / peso	kg CO2 eq.
	GWP 100, incl bio. C, incl LUC	Potencial de aquecimento global (GWP 100), incl bio. C, incl LUC, sem norma / peso	kg CO2 eq.
	GWP 100, Land Use Change only	Potencial de aquecimento global (GWP 100), apenas mudança no uso do solo, sem norma / peso	kg CO2 eq.

Fonte: (próprio autor)

- Mudanças climáticas – Potencial de aquecimento global (GWP – *Global Warming Potential*) possuindo relação com o efeito estufa, nada mais é que um fator de medição responsável por determinar as quantidades de gases presentes na atmosfera em relação ao aquecimento global. Dentre esses gases, podem-se citar os mais significativos para esta medição como o dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e dióxido de nitrogênio (NO₂). Para a quantificação, o GWP é medido em valores relacionados a quantidade de CO₂ emitidos no ar. No CML 2001, encontram-se 5 categorias de GWP, que são diferenciadas através da inclusão ou exclusão de componentes específicos, porém todas possuem como indicador de medida o CO₂. Dependendo da metodologia utilizada, o nome dessa categoria pode mudar (CUBALA, 1999).

- Acidificação – ocorre quando a emissão de substâncias gasosas compostas por nitrogênio ou enxofre, entram em contato com a água formando uma solução ácida, como por exemplo ácido sulfúrico (H_2SO_4) ou ácido nítrico (HNO_3). Esses gases podem entrar em contato com a água tanto em rios e afluentes quanto na formação das conhecidas chuvas ácidas. A formação dessas substâncias ácidas ocorre principalmente da queima de combustíveis fósseis ocasionando na emissão de dióxido de enxofre (SO_2) ou através de óxidos de nitrogênio (NO_2). Os efeitos podem ser devastadores ao contato com estruturas metálicas, paredes, rios, vegetação e animais (CUBALA, 1999).

- Eutrofização – a emissão de nitratos ou fosfatos em contato com ecossistemas aquáticos como rios, lagos, lagoas é o suficiente para a formação do processo de eutrofização. O processo em si consiste no aumento da velocidade na produção biológica de determinado ecossistema. Um exemplo claro de eutrofização, é o crescimento desenfreado de algas na superfície de um lago, aumentando a quantidade de biomassa presente no ecossistema. Esse efeito se dá pelas grandes quantidades de nitrogênio (N) e fósforo (P), que em quantidades controladas são de grande importância na vegetação e na agricultura de produção. Na metodologia CML 2001, o indicador de medida utilizado é o fosfato diferentemente do nitrato utilizado na metodologia do TRACI 2.1 (CUBALA, 1999).

- Ecotoxicidade - essa categoria relaciona quaisquer tipos de substâncias tóxicas que são emitidas na produção de um produto pelo homem ao meio ambiente. Para avaliar esse impacto, a devida separação entre substâncias que entram em contato com a água e com o solo, deve ser levada em conta por se tratarem de processos diferentes. Ainda utilizando o CML 2001, na metodologia essa categoria é dividida em 3 partes (água doce, água marinha e terrestre) (CUBALA, 1999).

- Toxicidade Humana – assim como a categoria acima indica o nível de substâncias emitidas na água e no solo, essa categoria está relacionada a seres humanos. A princípio, esse contato deve-se a exposição dos humanos a produção industrial e aos intensos tráfegos nas grandes cidades (CUBALA, 1999).

- Esgotamento de recursos fósseis/combustíveis – essa categoria está relacionada as reservas de petróleo e refinarias, o quanto é a capacidade de extração delas no período de um ano. Essas reservas podem ser de petróleo, gás natural ou carvão. Definidos pela totalidade de recursos disponíveis, sua unidade de medida é expressa em Megajoules (MJ). Na metodologia CML 2001, essa categoria é dividida em ADP elements e ADP fóssil (CUBALA, 1999).

- Potencial de criação de ozônio fotoquímico (smog) – efeito causado pela mistura da luz solar em dias quentes e secos, no Brasil ocorre com maior intensidade na época do outono, a formação dessa neblina. É composta principalmente por dióxido de nitrogênio (NO_2). Nos humanos, essa neblina pode causar uma série de doenças respiratórias, como bronquites, asma e enfisemas pulmonares. A origem da emissão desses compostos vem principalmente do tráfego intenso das grandes cidades e parques industriais (CUBALA, 1999).

3 RESULTADOS DAS COMPONENTES DA ANTENA WI-FI

Neste capítulo, após a escolha da metodologia CML 2001 para a AICV, os resultados serão apresentados, analisados, discutidos afim de identificar possíveis questões de grande importância em relação ao processo de produção da antena wi-fi 2,4GHz/5,8GHz e 5dBi. Como visto nas etapas de uma ACV, após a montagem do ICV, os resultados do AICV formam a última etapa do estudo, e a correta apuração e possíveis soluções para determinados problemas, visa a ser muito importante para a veracidade da ACV.

Para entender melhor a montagem de todo processo de produção da antena wi-fi, a Figura 9 mostra a interface do *software* GaBi assim como todos os planos, processos, subprocessos, fluxos, recursos e componentes necessários para a montagem.

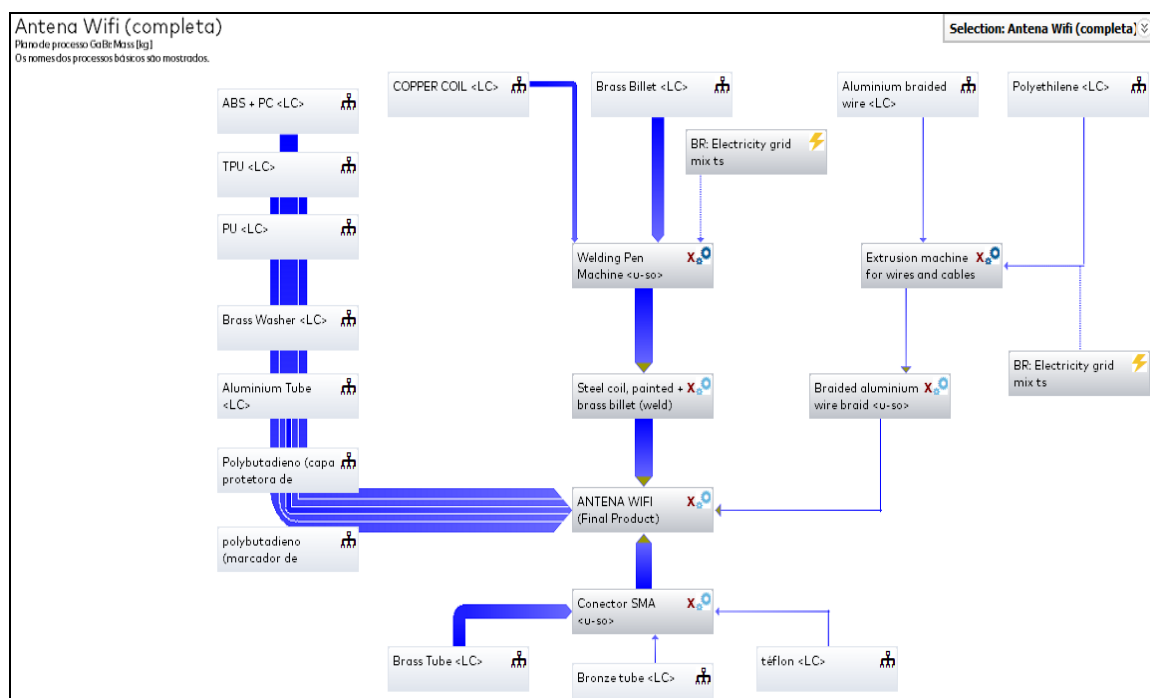


Figura 5 – Interface software Gabi, processo de produção Antena Wi-fi

Fonte: (Adaptado da interface do software GaBi, 2020)

Pode-se notar que na Figura 9, o produto final está bem ao centro ligado a todos seus componentes no formato de processos e subprocessos. Em cada caixa de plano, há a produção separada do componente em si, onde nesse plano completo da Antena Wi-fi componentes separados foram realocados em subprocessos. Um exemplo, é o conector SMA formado pelo tubo de latão, tubo de bronze e o politetrafluoretileno ou téflon. Outro exemplo, é o componente *braided aluminium wire braid* que se trata de uma malha de alumínio envolta numa capa de polietileno.

Como dito acima, cada caixa plano possui sua estrutura particular com todo o processo necessário para a produção daquele componente da antena. Na Figura 10 pode-se ver o exemplo do filamento com a bobina de cobre, componente mais importante do filamento interno irradiador.

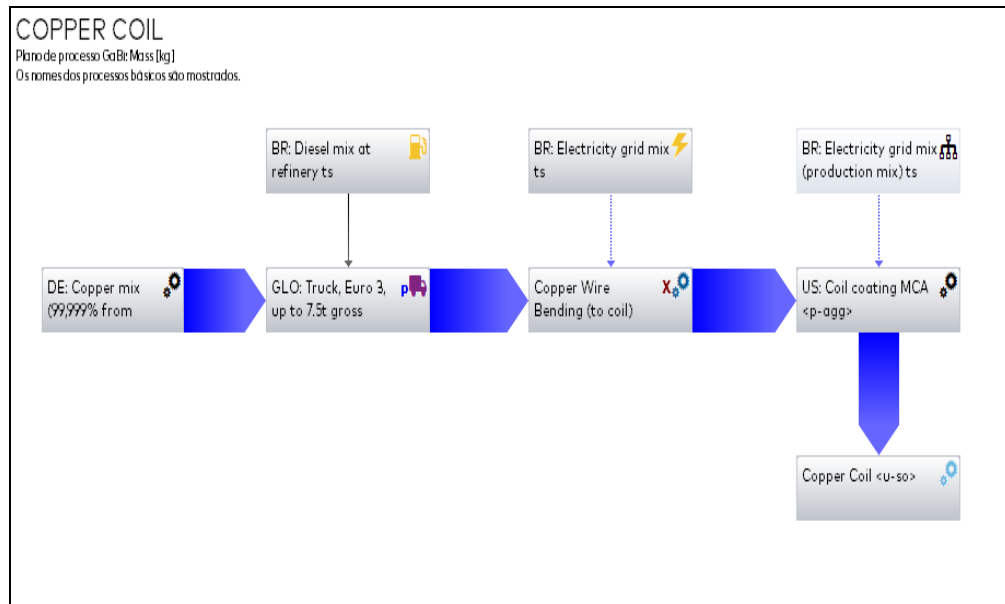


Figura 6 – Plano de produção filamento bobina de cobre.
Fonte: (Adaptado da interface do software GaBi, 2020)

Como visto na Figura 10, o filamento bobina de cobre é apenas um subprocesso de todo um sistema até formar o produto final. Assim como esse componente, os outros subprocessos são realocados em processos que se juntam na estrutura final do produto. Esse por exemplo, faz parte do processo filamento interno irradiador. Após as explicações acima e toda estrutura montada no *software* GaBi e utilizando a metodologia CML 2001 tem-se os resultados abaixo na Tabela 3. Lembrando que o processo foi dividido em três subprocessos (filamento interno, estrutura externa e conector SMA).

Tabela 3 - Tabela de resultados do filamento interno da estrutura da Antena Wi-fi.

	Categoria de Impacto	Descrição	Antena Wifi	Indicador de medida
CML 2001	GWP	Potencial de aquecimento global	2,76E-02	kg CO2 eq.
	AP	Acidificação	1,79E-04	kg SO2 eq.
	EP	Eutrofização	9,42E-06	kg Phosphate eq.
	ODP	Depleção de ozônio	1,72E-10	kg R11 eq.
	TETP	Ecotoxicidade terrestre	9,10E-05	kg DCB eq.
	FAETP	Ecotoxicidade aquática (lagos e rios)	4,01E-04	kg DCB eq.
	MAETP	Ecotoxicidade aquática (mares e oceanos)	37,16	kg DCB eq.
	ADP elements	Depleção elementos energéticos	7,19E-06	kg Sb eq.
	ADP fossil	Depleção elementos energéticos fósseis	0,331	MJ
	HTP	Potencial de toxicidade humana	3,31E-02	kg DCB eq.
	POCP	Potencial de criação de ozônio fotoquímico	9,07E-06	kg Ethene eq.
	GWP, excl biogenic carbon	Potencial de aquecimento global, excluindo carbono biogênico	2,76E-02	kg CO2 eq.
	GWP 100, excl bio. C, incl LUC	Potencial de aquecimento global (GWP 100), excl bio. C, incl LUC, sem norma / peso	2,77E-02	kg CO2 eq.
	GWP 100, incl bio. C, incl LUC	Potencial de aquecimento global (GWP 100), incl bio. C, incl LUC, sem norma / peso	2,78E-02	kg CO2 eq.
	GWP 100, Land Use Change only	Potencial de aquecimento global (GWP 100), apenas mudança no uso do solo, sem norma / peso	9,55E-05	kg CO2 eq.

Fonte: (próprio autor)

Para o balanço calculado no filamento interno, foram utilizados os materiais poliuretano para a espuma marcadora da estrutura, duas arruelas de latão, capa protetora a base de polibutadieno ou borracha sintética, filamento irradiador de cobre, tubo de alumínio, politetrafluoretileno ou teflon para preenchimento do tubo de alumínio, capa externa e interna a base de polietileno para proteger a malha de alumínio além de duas malhas de alumínio. No gráfico da Figura 11, os dados apresentados na tabela foram reorganizados em comparação a composição total da antena.

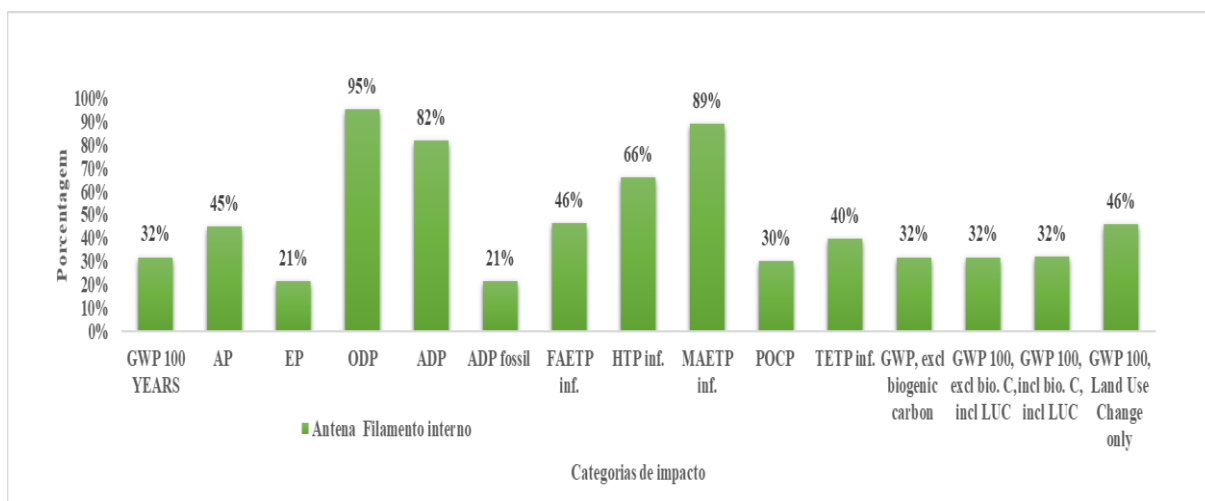


Figura 7 - Gráfico comparativo filamento interno

Fonte: (próprio autor)

Em todos os três subprocessos, os devidos foram alimentados com a massa correspondente e a energia necessária para a construção da peça. A categoria ODP apresentou maior porcentagem, porém seu valor está muito abaixo do valor pertencente ao GWP em relação à antena como um todo. As seguintes massas e quantidades específicas de energia são encontradas nos apêndices A e B. O balanço para a estrutura externa é apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 – Tabela de resultados da estrutura externa da antena wi-fi.

	Categoria de Impacto	Descrição	Antena Wifi	Indicador de medida
CML 2001	GWP	Potencial de aquecimento global	5,67E-02	kg CO2 eq.
	AP	Acidificação	1,93E-04	kg SO2 eq.
	EP	Eutrofização	3,34E-05	kg Phosphate eq.
	ODP	Depleção de ozônio	8,51E-12	kg R11 eq.
	TETP	Ecotoxicidade terrestre	1,22E-04	kg DCB eq.
	FAETP	Ecotoxicidade aquática (lagos e rios)	4,04E-04	kg DCB eq.
	MAETP	Ecotoxicidade aquática (mares e oceanos)	3,46	kg DCB eq.
	ADP elements	Depleção elementos energéticos	2,00E-07	kg Sb eq.
	ADP fossil	Depleção elementos energéticos fósseis	1,19	MJ
	HTP	Potencial de toxicidade humana	1,44E-02	kg DCB eq.
	POCP	Potencial de criação de ozônio fotoquímico	1,99E-05	kg Ethene eq.
	GWP, excl biogenic carbon	Potencial de aquecimento global, excluindo carbono biogênico	5,68E-02	kg CO2 eq.
	GWP 100, excl bio. C, incl LUC	Potencial de aquecimento global (GWP 100), excl bio. C, incl LUC, sem norma / peso	5,69E-02	kg CO2 eq.
	GWP 100, incl bio. C, incl LUC	Potencial de aquecimento global (GWP 100), incl bio. C, incl LUC, sem norma / peso	5,68E-02	kg CO2 eq.
	GWP 100, Land Use Change only	Potencial de aquecimento global (GWP 100), apenas mudança no uso do solo, sem norma / peso	9,73E-05	kg CO2 eq.

Fonte: (próprio autor)

A composição da estrutura externa é a base de polímeros. A maior parte da estrutura é feita a base de termoplástico poliuretano (TPU), seguida pela proteção do conector SMA e dos engates plásticos que fornecem maleabilidade, ambos compostos por policarbonato acrilonitrilo butadieno estireno (PC+ABS), formando uma estrutura rígida o suficiente para fornecer a proteção para os componentes internos da antena. No gráfico da Figura 12, segue a comparação com a estrutura total da antena.

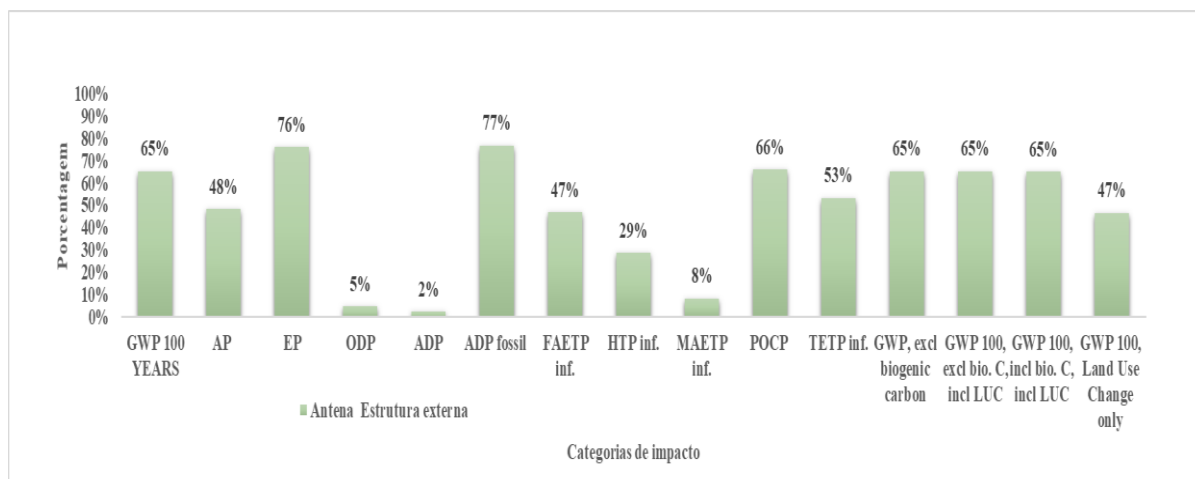


Figura 8 - Gráfico comparativo estrutura externa.

Fonte: (próprio autor)

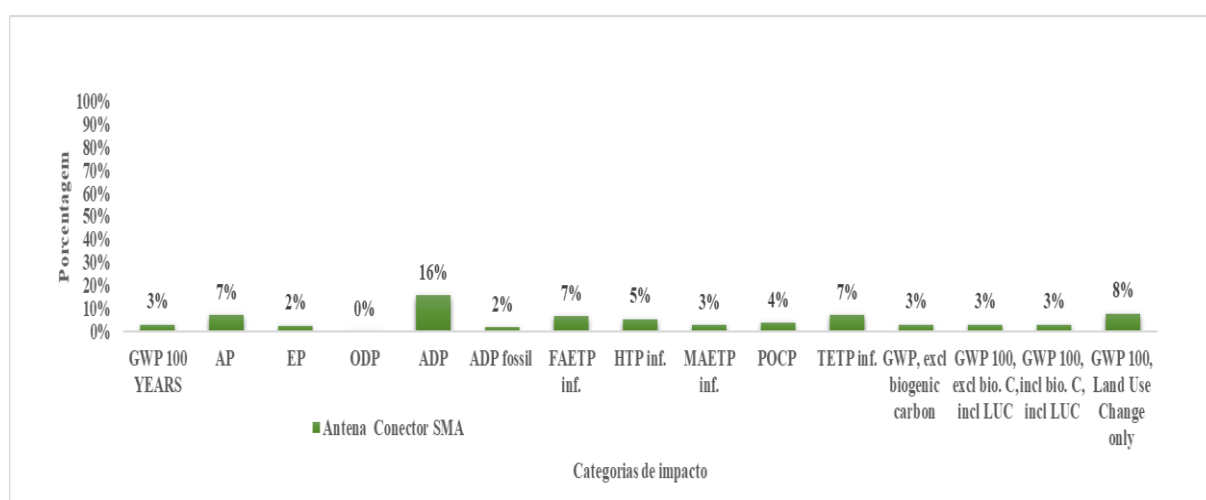
Por último, o terceiro subprocesso que compõe a antena como um todo, a estrutura do conector SMA composto pela parte externa e interna a base de latão, o dielétrico interno utilizando politetrafluoretileno, conector interno a base de bronze e o marcador laranja que utiliza polibutadieno, mais conhecida como borracha sintética. As categorias ODP e EP estão muito abaixo, significando que a estrutura externa não impacta em relação a essas categorias. Em relação ao conector SMA, mais especificações técnicas a respeito de sua estrutura são encontradas no anexo B. Na Tabela 5, são apresentados os resultados obtidos para o conector SMA.

Tabela 5 – Tabela de resultados do conector SMA da antenna wi-fi.

	Categoria de Impacto	Descrição	Antena Wifi	Indicador de medida
CML 2001	GWP	Potencial de aquecimento global	2,60E-03	kg CO2 eq.
	AP	Acidificação	2,79E-05	kg SO2 eq.
	EP	Eutrofização	1,08E-06	kg Phosphate eq.
	ODP	Depleção de ozônio	7,11E-17	kg R11 eq.
	TETP	Ecotoxicidade terrestre	1,60E-05	kg DCB eq.
	FAETP	Ecotoxicidade aquática (lagos e rios)	5,80E-05	kg DCB eq.
	MAETP	Ecotoxicidade aquática (mares e oceanos)	1,18	kg DCB eq.
	ADP elements	Depleção elementos energéticos	1,39E-06	kg Sb eq.
	ADP fossil	Depleção elementos energéticos fósseis	2,90E-02	MJ
	HTP	Potencial de toxicidade humana	2,68E-03	kg DCB eq.
	POCP	Potencial de criação de ozônio fotoquímico	1,13E-06	kg Ethene eq.
	GWP, excl biogenic carbon	Potencial de aquecimento global, excluindo carbono biogénico	2,61E-03	kg CO2 eq.
	GWP 100, excl bio. C, incl LUC	Potencial de aquecimento global (GWP 100), excl bio. C, incl LUC, sem norma / peso	2,62E-03	kg CO2 eq.
	GWP 100, incl bio. C, incl LUC	Potencial de aquecimento global (GWP 100), incl bio. C, incl LUC, sem norma / peso	2,61E-03	kg CO2 eq.
	GWP 100, Land Use Change only	Potencial de aquecimento global (GWP 100), apenas mudança no uso do solo, sem norma / peso	1,62E-05	kg CO2 eq.

Fonte: (próprio autor)

Por fim, no gráfico da Figura 13 seguem as porcentagens pertencentes ao conector SMA em comparação a antenna como um todo.

**Figura 9** - Gráfico comparativo conector SMA.

Fonte: (próprio autor)

Para melhor entendimento dos dados obtidos na apuração de resultados do *software* GaBi, os três subprocessos foram realocados em um gráfico na Figura 14 para melhor organização e observação dos dados, afim de realizar possíveis análises do processo.

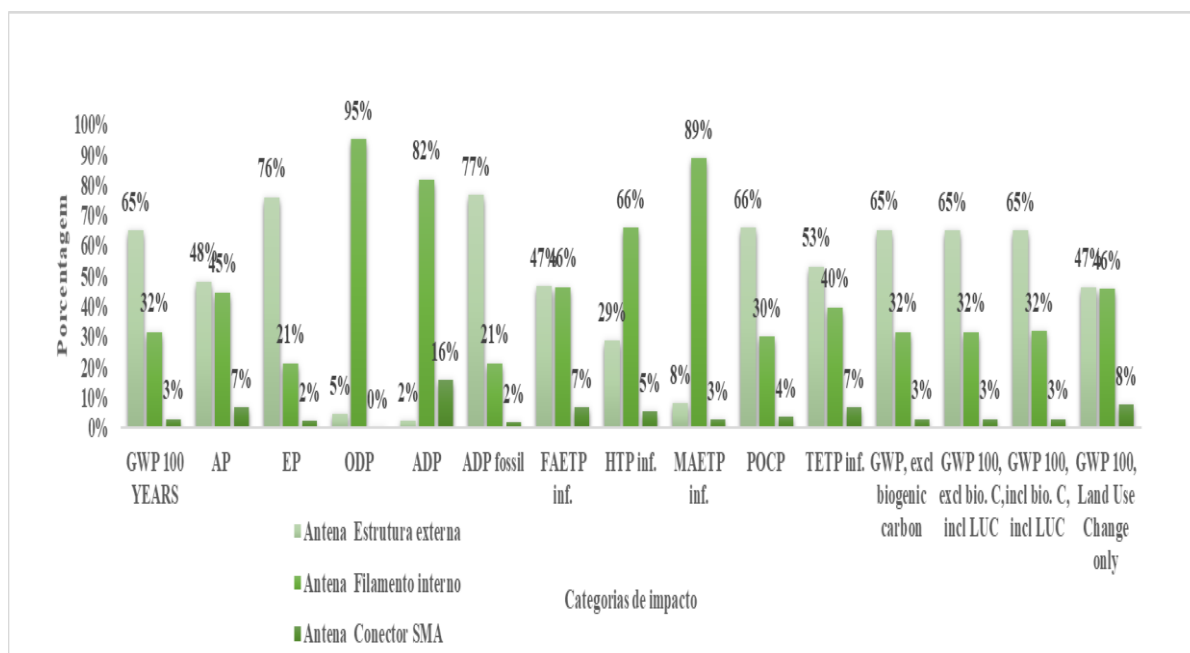


Figura 10 - Gráfico comparativo, subprocessos antenna wi-fi.

Fonte: (próprio autor)

Foram realizados também o balanço da antenna wi-fi total, composta pelos três subprocessos apresentados na pesquisa para confrontar que nenhum dado foi retirado ou perdido, e mais uma vez a matemática foi correta. A soma dos impactos dos três subprocessos (estrutura externa, filamento interno e conector SMA), é equivalente aos valores de categorias de impactos apresentados na apuração da antenna wi-fi como um todo. Os dados apresentados seguem na Tabela 6.

Tabela 6 – Tabela de resultados total da Antena Wi-fi.

	Categoria de Impacto	Descrição	Antena Wifi	Indicador de medida
CML 2001	GWP	Potencial de aquecimento global	8,69E-02	kg CO2 eq.
	AP	Acidificação	4,00E-04	kg SO2 eq.
	EP	Eutrofização	4,39E-05	kg Phosphate eq.
	ODP	Depleção de ozônio	1,81E-10	kg R11 eq.
	TETP	Ecotoxicidade terrestre	2,29E-04	kg DCB eq.
	FAETP	Ecotoxicidade aquática (lagos e rios)	8,63E-04	kg DCB eq.
	MAETP	Ecotoxicidade aquática (mares e oceanos)	41,8	kg DCB eq.
	ADP elements	Depleção elementos energéticos	8,78E-06	kg Sb eq.
	ADP fóssil	Depleção elementos energéticos fósseis	1,55	MJ
	HTP	Potencial de toxicidade humana	5,02E-02	kg DCB eq.
	POCP	Potencial de criação de ozônio fotoquímico	3,01E-05	kg Ethene eq.
	GWP, excl biogenic carbon	Potencial de aquecimento global, excluindo carbono biogênico	8,70E-02	kg CO2 eq.
	GWP 100, excl bio. C, incl LUC	Potencial de aquecimento global (GWP 100), excl bio. C, incl LUC, sem norma / peso	8,72E-02	kg CO2 eq.
	GWP 100, incl bio. C, incl LUC	Potencial de aquecimento global (GWP 100), incl bio. C, incl LUC, sem norma / peso	8,72E-02	kg CO2 eq.
	GWP 100, Land Use Change only	Potencial de aquecimento global (GWP 100), apenas mudança no uso do solo, sem norma / peso	2,09E-04	kg CO2 eq.

Fonte: (próprio autor)

Com base nos dados apresentados até o momento, algumas análises podem ser obtidas através da visão superficial das planilhas e dos gráficos. Num primeiro momento, é possível analisar que a categoria de impacto mais relevante analisada tanto nos três subprocessos separados quanto na análise da antena como um todo, refere-se ao GWP ou Potencial de aquecimento global com um valor significativo de 0,0869 kg de CO₂ eq. emitidos na produção de uma única antena representando a totalidade de 100% para a antena total. As outras categorias apresentaram valores muito abaixo, menor do que gramas, ou seja impactos irrisórios.

Porém, sabe-se que a quantidade de antenas wi-fi produzidas mundialmente passa da casa dos milhões chegando até aos bilhões de unidades. Para se ter uma noção do resultado, em pesquisas em plataformas de compras de empresas chinesas, divulgam estimativas mensais e anuais de venda de seus produtos. A Shenzhen Yetnorson Technology, empresa especializada na produção de antenas (4G, 5G, Wi-fi, Smart TV e etc.), localizada na cidade de Shenzhen, província de Guangdong na China, em seu relatório de produção estimou para o mês de março de 2020 a produção de trezentos e oitenta mil peças de antenas wi-fi, fazendo uma estimativa para o decorrer do ano de dois milhões e oitocentas mil peças. Com base nessas informações, alguns cálculos podem ser realizados.

$$1 \text{ unidade} = 0,0869 \text{ kg de CO}_2$$

$$2 \text{ milhões e } 800 \text{ mil unidades} = 243320 \text{ kg de CO}_2 = 243,32 \text{ toneladas de CO}_2$$

Porém, ainda se referindo a essa única empresa, os valores podem ser ainda maiores caso a estimativa mensal se mantenha ou até aumente no decorrer do ano. Realizando os mesmos cálculos com trezentos e oitenta mil peças produzidas em cada um dos doze meses de 2020, tem-se:

$$1 \text{ unidade} = 0,0869 \text{ kg de CO}_2$$

$$4 \text{ milhões e } 560 \text{ mil unidades} = 396264 \text{ kg de CO}_2 = 396,264 \text{ toneladas de CO}_2$$

Esse cálculo, tem como base apenas uma única empresa, em uma única cidade da China. Sabe-se que o país asiático é um grande exportador de tecnologia e eletroeletrônicos. A dimensão do impacto é muito maior se considerar a existência de inúmeras empresas desse ramo no próprio país e espalhadas por todos os cantos do globo. Mais informações a respeito da produção da empresa chinesa encontram-se em anexo C.

Além dessa quantidade emitida de CO₂, outro dado alarmante pode ser levado a análise presente no gráfico de colunas da Figura 14. Segundo o gráfico, 65% do CO₂ emitido na atmosfera, tem sua origem da estrutura externa da Antena Wi-fi, algo que realmente faz sentido devido à grande quantidade de polímeros presentes nessa parte da antena. Por possuírem origem de fontes não renováveis como o petróleo, o próprio processo de extração e produção do óleo já emite uma grande quantidade CO₂. Outro fato, que pode evidenciar que esse componente da antena está contribuindo para a maior categoria de impacto divulgada, são as massas presentes dos polímeros na estrutura externa. Para o caso do TPU, cerca 8,9746 gramas da substância presente na casca, assim como o ABS+PC que acrescentam mais 4,58026 gramas.

O peso total da antena estudada, medido em laboratório totalizou 24,6636 gramas, sendo dessa quantidade 13,55486 gramas de polímeros presentes na estrutura externa da antena. Outros polímeros como polibutadieno (PB), polietileno (PE), poliuretano (PU) e politetrafluoretileno (PTFE), também estão presentes na estrutura em si, mas em quantidades mínimas comparadas a estrutura externa e ao peso total da antena. Com base nos 65% de CO₂ emitidos pela estrutura externa, alguns cálculos podem ser descritos.

243,32 toneladas de CO₂ = 2 milhões e 800 mil unidades de Antenas Wifi

158,158 toneladas de CO₂ = 65% referentes a estrutura externa

Segundo esses cálculos, tendo em vista aquela única empresa produzindo dois milhões e oitocentas mil unidades no decorrer do ano de 2020, apenas a estrutura externa da antena wi-fi composta por polímeros como TPU e ABS+PC, seria responsável pela emissão de 158 toneladas de CO₂ na atmosfera. Os cálculos acima, podem ser vistos abaixo no gráfico da Figura 15. Dados relacionados a massas e energias dos componentes da antena são encontrados no apêndice.

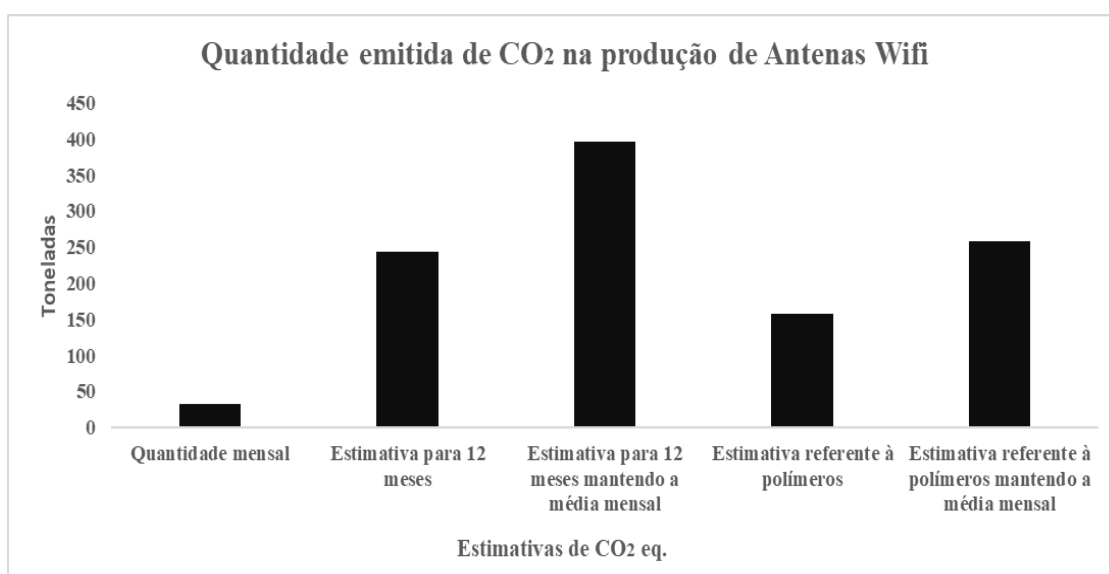


Figura 11 - Gráfico, estimativa de CO₂.
Fonte: (próprio autor)

4 CONCLUSÕES

Após todo um processo de análise para a detecção de impactos ambientais causados na produção de uma antena wi-fi, pode-se salientar algumas contribuições que esse trabalho pode oferecer ao meio acadêmico, a sociedade e ao próprio autor além de algumas limitações que se resolvidas facilitariam todo o processo de estudo. A começar pelas limitações, a ausência de uma versão mais completa do *software* GaBi ajudaria no processo de caracterização dos componentes, tendo em vista que a versão acadêmica do próprio não fornecia alguns materiais, exemplo, o teflon.

Uma segunda limitação, que pouco impactou em comparação a primeira, devido ao fato de pesquisas, artigos, *datasheets* fornecerem informações a respeito de energia, materiais e processos, foi a ausência de uma empresa parceira específica da área de fabricação de antenas, capaz de fornecer as informações necessárias para a implantação de todo o processo no *software*, o que economizaria muito tempo na montagem.

Em relação as contribuições, em específico a academia, num primeiro momento esse projeto serve como base para aqueles que buscam maior entendimento do funcionamento de uma ACV de um produto, tendo em vista, que todas as etapas foram seguidas conforme as normas ABNT 14040 e 14044 para a formação do processo como um todo. Também ligadas ao meio acadêmico, outra contribuição, seria a ampliação da diversidade de estudos de ACV tendo em vista que o processo em si é amplamente utilizado numa vasta variedade de produtos, porém, poucos destes são específicos das áreas das telecomunicações.

Para a sociedade, como contribuição fica a conscientização a respeito da sustentabilidade e a preocupação com o planeta para as futuras gerações. Em tempos onde o capitalismo avança desenfreadamente e o consumismo aumenta em níveis alarmantes, esse projeto visa mostrar as pessoas o quanto essa expansão está afetando o meio ambiente e a quantidade de materiais que estão sendo descartados erroneamente e que poderiam ser utilizados de outra forma através da reciclagem.

Para o autor, fica como aprendizado o conhecimento adquirido na área ambiental, grande admirador das áreas de Engenharia Ambiental, Engenharia de Segurança e Engenharia da Qualidade. Fica também a contribuição em disseminar uma técnica de avaliação pouco conhecida no desenvolvimento sustentável. Para futuras pesquisas na área, a sustentabilidade vem sendo e continuará a ser a saída para combater a poluição em crescimento exponencial no

planeta. Investimentos em pesquisas que visam a substituição de materiais como polímeros por PADs (Plásticos Ambientalmente Degrádaveis) tendem a ser uma solução viável para o problema.

Em relação a reciclagem de metais, processos pirometalúrgicos vem sendo os mais utilizados com o tempo afim da recuperação de metais preciosos na composição de ligas. Porém, estudos visando a utilização de bactérias como no processo de biometalurgia tendem a ser uma tendência futura, além de uma interessante área de pesquisa. Outras variações como hidrometalurgia e eletrometalurgia também mostram eficiência.

Por fim, foi possível concluir através de resultados apresentados o impacto causado pelo excesso de polímeros na produção da antena wi-fi. Os dados mostraram que o problema identificado principalmente na estrutura externa, onde a maior parte dos materiais apontados como problemas estavam presentes. Uma possível solução que já vem sendo estudada com o passar dos anos, a implantação de estruturas a base de polímeros biodegradáveis, geralmente compostas a base substâncias vegetais como amido e celulose, procuram ajudar o meio ambiente numa decomposição facilitada em comparação aos polímeros sintéticos, num mercado eletroeletrônico que vem expandindo cada vez mais.

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.

ABAL – Associação Brasileira do Alumínio. **Cadeia primária**. 2018. Disponível em: <<http://abal.org.br/aluminio/cadeia-primaria/>>. Acesso em: 10 ago. 2020.

ANDREWS, Jeffrey G.; GHOSH, Arunabha; MUHAMED, Rias; ZHANG, Jun. **Fundamentals of LTE**. 2011. Pearson Education, Inc. Boston, Massachusetts.

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.

COATES, Roger. **A practitioner's view of radiation and the law. IRPA – International Radiation Protection Association**. 23rd NUCLEAR INTER JURA 2018. Abu Dhabi, United Arab Emirates, 4-8 November, 2018.

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.

EUROPEAN COMMISSION - Joint Research Centre - **Institute for Environment and Sustainability: International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance**. First edition March 2010. EUR 24708 EN. Luxembourg. Publications Office of the European Union; 2010.

FARIA, Adriana Ferreira de; PINTO, Ana Carolina de Abreu; RIBEIRO, Maressa Nunes; CARDOSO, Tatiane Silva; RIBEIRO, João Paulo C. **Processo de Desenvolvimento de Novos Produtos: uma experiência didática**. Universidade Federal de Viçosa – UFV. XXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO A integração de cadeias produtivas com a abordagem da manufatura sustentável. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 13 a 16 de outubro de 2008.

FOLHA DE S. PAULO EQUILÍBRIO. **Ondas eletromagnéticas poluem o ar das cidades.** Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/fsp/equilibrio/eq2206200012.htm>>. Acesso em: 20 ago. 2020.

G1. **Agricultura de precisão: tecnologia previne prejuízos com monitoramento de solo e lavouras.** Disponível em: <<https://g1.globo.com/sc/santa-catarina/especial-publicitario/netword-agro/noticia/2020/07/06/agricultura-de-precisao-tecnologia-previne-prejuizos-com-monitoramento-de-solo-e-lavouras.ghtml>>. Acesso em: 8 set. 2020.

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.

GARDINER, Kerry; HARRINGTON, J. Malcolm. **Occupational Hygiene.** 3. ed. Massachusetts – USA: Blackwell Publishing Ltda. 2005.

GERBASE, Annelise Engel; OLIVEIRA, Camila Reis. **Reciclagem do lixo de informática: uma oportunidade para a química.** Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, Porto Alegre, 2012.

GSMA. **Fixed Wireless Access: Economic Potential and Best Practices.** 03 de agosto de 2018. Disponível em: <<https://www.gsma.com/futurenetworks/5g/fixed-wireless-access-economic-potential-and-best-practices/>>. Acesso em: 10 ago. 2020.

GURSKI, Bruno; GONZAGA, Roberto; TENDOLINI, Patricia. **Conferência de Estocolmo: Um marco na questão ambiental.** Centro Universitário Curitiba – UNICURITIBA. Curitiba – PR, 2012.

IBDN. **O que é Marketing verde e por que obter um “Selo Verde”?**. Disponível em: <<https://ibdn.org.br/o-que-e-marketing-verde-e-por-que-obter-um-selo-verde-para-minha-empresa/>>. Acesso em: 8 set. 2020.

INNOCENTINI-MEI, Lucia Helena; MARIANI, Pilar Drummond Sampaio Corrêa. **Visão geral sobre polímeros ou plásticos ambientalmente degradáveis PADs.** Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Campinas – SP, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Instrução Normativa IBAMA Nr.3 de 18/12/2012.** Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=248656>>. Acesso em: 10 ago. 2020.

KRELLING, Anael. **Metalurgia do pó** / Anael Krelling - Santa Catarina: IFSC, 2009.

LEITO Ribeiro, Edson; BULCÃO Pessoa, Martha. **Os efeitos da radiação eletromagnética na vida do ser humano: uma análise do paradigma ambiental.** Tecnologia e Sociedade, vol.3, núm.5, julho-diciembre, 2007, pp.15-31. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Brasil.

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

MATWEB. **Material property data**. Disponível em: <<http://www.matweb.com/index.aspx>>. Acesso em: 15 jul. 2020.

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.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Ministério do Meio Ambiente celebra Acordo Setorial de Eletroeletrônicos**. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/informma/item/15652-minist%C3%A9rio-do-meio-ambiente-celebra-acordo-setorial-de-eletroeletr%C3%B4nicos.html>>. Acesso em: 8 set. 2020.

NETWORDAGRO. **Monitoramento de solos e lavouras para prevenção de pragas, doenças e daninhas**. Disponível em: <<https://networdagro.com.br/quem-somos>>. Acesso em: 8 set. 2020

NORMA BRASILEIRA ABNT NBR 10004. 2 ed. 31.05.2004. Válida a partir de 30.11.2004. Rio de Janeiro – RJ. 2004. Licença de uso exclusivo para Target Engenharia e Consultoria S/C Ltda. Cópia impressa pelo sistema CENWEB em 31/05/2004.

POZAR, David M. **Microwave engineering**. 4th ed. Wiley. Massachussetts, 2011.

PIEKARSKI, Cassiano Moro; LUZ, Leila Mendes da; ZOCHE Lidiana; FRANCISCO, Antonio Carlos de. **Métodos de avaliação de impactos do ciclo de vida: uma discussão para adoção de métodos nas especificidades brasileiras**. Revista Gestão Industrial, UFTPR – Ponta Grossa – Paraná, v.08, m.03, p.222-240, 2012.

RAPPAPORT, Theodore S. **Comunicações sem fio: princípios e práticas** 2. ed. / Theodore S. Rappaport; tradução Daniel Vieira; revisão técnica Luiz Carlos Pessoa Albini. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

RIOS, Luiz Gonzaga; PERRI, Eduardo Barbosa. **Engenharia de Antenas**. 2. ed. [S.I.] Blucher, 2002. p. 1-250.

SANTOS, Ronaldo Luiz Corrêa. **Tópicos sobre a reciclagem de metais e sustentabilidade** / Ronaldo Luiz C. dos Santos. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2014.

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.

SCIELO. RAM. **Revista de Administração Mackenzie - RAM**, Rev. Adm. Mackenzie (Online) vol.12 no.3 São Paulo June 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-69712011000300002>. Acesso em: 10 ago. 2020.

SHENZHEN YETNORSON TECHNOLOGY CO., LTD. Assessed By: Gavin Zhang. **Main Product Lines Verification Report**. Date:18/Mar./2020. Disponível em: <<http://ynxantenna.en.alibaba.com>>. Acesso em: 20 jul. 2020.

SILVA, Denize Francisca da; BARROS, Warley Rocha; ALMEIDA, Maria da Conceição Chagas de; RÊGO, Marco Antônio Vasconcelos. **Exposição a radiações eletromagnéticas não ionizantes da telefonia celular e sintomas psiquiátricos**. Centro de Pesquisas Gonçalo Moniz, Fundação Oswaldo Cruz. Faculdade de Medicina da Bahia. Universidade Federal da Bahia. Salvador - BA, 2015.

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 SÓLIDOS, 4., 2013, Porto Alegre. São Paulo: CPQD - Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações, 2013.

SINNOTT, Alice Pereira. **A aplicabilidade da lei nº. 12305/10 sob o viés do princípio da responsabilidade compartilhada**. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul – PUCRS, 2012.

SÍRIO-LIBANÊS. **Brasil: É Realizada a Primeira Telecirurgia no país**. Disponível em: <<https://www.hospitalsiriolibanes.org.br/imprensa/noticias/Paginas/Brasil-%C3%89-Realizada-a-Primeira-Telecirurgia-no-pa%C3%ADs-.aspx>>. Acesso em: 17 ago. 2020.

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.

VALE. **Produção e vendas da Vale 2T20**. Rio de Janeiro, 20 de julho de 2020. Disponível em: <http://www.vale.com/PT/investors/information-market/quarterly-results/ResultadosTrimestrais/PREREPORT2T20_p%20-%20vf.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2020.

APÊNDICE A – INVENTÁRIO DOS MATERIAIS CARACTERIZADOS

Tabela 7 – 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) ₂ -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) ₂ -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) ₂ -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)	Polietileno (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)	Polietileno (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	24,51466667					

Fonte: (próprio autor).

APÊNDICE B – ENERGIA UTILIZADA

Tabela 8 – 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 poluretano (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 poluretano (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	80m/min e 310 cickes/min	0,0000224997 e 0,00010645
Ruela Fina	Latão	Cu-Zn	Máquina de chapa de latão/ Micro prensa DAI 2000	1 a 30,55	30,55	80m/min e 310 cickes/min	0,0000224997 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 ₆ H ₈ .C ₆ H ₅ N) _n + (-[CO-O-pPh-O-CH ₂]-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 ₆ H ₈ .C ₆ H ₅ N) _n + (-[CO-O-pPh-O-CH ₂]-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 ₆ H ₈ .C ₆ H ₅ N) _n + (-[CO-O-pPh-O-CH ₂]-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	0,000015768 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	0,0005203900
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 0,00047282
Filete 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	0,0000112195 e 0,000153306
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	0,0000112195 e 0,000153306

Fonte: (próprio autor).

APÊNDICE C – RESULTADOS DE OUTRAS METODOLOGIAS

Tabela 9 – Resultados metodologia Environmental Footprint 2.0.

	Categoria de Impacto	Descrição	Antena Wifi	Indicador de medida
Environmental Footprint 2.0	AP	Acidificação	4,38E-04	Mole of H+ eq.
	Human toxicity (cancer)	Efeitos do câncer na saúde humana	4,82E-10	CTUh
	GWP	Potencial de aquecimento global	9,08E-02	kg CO ₂ eq.
	GWP (biogenic)	Potencial de aquecimento global (biogénico)	1,36E-04	kg CO ₂ eq.
	GWP (fossil)	Potencial de aquecimento global (combustíveis fósseis)	9,05E-02	kg CO ₂ eq.
	GWP (land use)	Potencial de aquecimento global (uso de terra)	2,09E-04	kg CO ₂ eq.
	EP freshwater	Eutrofização (água doce)	3,50E-06	kg P eq.
	EP marine	Eutrofização (água salgada)	8,00E-05	kg N eq.
	EP	Eutrofização (terrestre)	7,22E-04	Mole of N eq.
	Ionising Radiation	Radiação ionizante	3,30E-03	kBq U235 eq.
	Land Use	Terra utilizada	3,49E-01	Pt.
	Human toxicity (non cancer)	Efeitos do não câncer na saúde humana	1,54E-08	CTUh
	ODP	Depleção de ozônio	9,29E-11	kg CFC-11 eq.
	POCP	Potencial de criação de ozônio fotoquímico	2,02E-04	kg NMVOC eq.
	Energy	Energia utilizada	1,67E+00	MJ
	Minerals & Metals	Minerais e metais utilizados	8,59E-06	kg Sb eq.
	Respiratory inorganics	Inorgânicos respiratórios	5,43E-09	PM2.5 eq.
	Eco tox	Ecotoxicidade de água doce	5,28E-02	CTUe
	Water	Escassez de água	1,29E-01	m3 eq.

Fonte: (próprio autor)

Tabela 10 – Resultados metodologia Recipe 2016 v1.1 Midpoint (H).

	Categoria de Impacto	Descrição	Antena Wifi	Indicador de medida
Recipe 2016 v1.1 Midpoint (H)	Climate change	Mudança climática	9,03E-02	kg CO ₂ eq.
	Climate change, incl biogenic carbon	Mudança climática	9,02E-02	kg CO ₂ eq.
	Fine particulate matter formation	Formação de partículas finas	9,16E-05	kg PM2.5 eq.
	Fossil depletion	Esgotamento fóssil	3,95E-02	kg oil eq.
	Freshwater consumption	Consumo de água doce	3,48E-03	m3
	Freshwater ecotoxicity	Ecotoxicidade de água doce	1,30E-04	kg 1,4-DB eq.
	Freshwater eutrophication	Eutrofização de água doce	3,50E-06	kg P eq.
	Human toxicity, cancer	Toxicidade humana, câncer	4,87E-05	kg 1,4-DB eq.
	Human toxicity, non cancer	Toxicidade humana, não câncer	1,92E-02	kg 1,4-DB eq.
	Ionizing radiation	Radiação ionizante	4,80E-04	Bq. C-60 eq. to air
	Land use	Terra utilizada	1,13E-02	Annual crop eq. yr
	Marine ecotoxicity	Ecotoxicidade marinha	5,30E-04	kg 1,4-DB eq.
	Marine eutrophication	Eutrofização marinha	5,36E-06	kg N eq.
	Metal depletion	Esgotamento metálico	3,73E-03	kg Cu eq.
	Photochemical ozone formation ecosystem	Ecossistema de formação fotoquímica de ozônio	1,66E-04	kg Nox eq.
	Photochemical ozone formation, human health	Saúde humana, formação fotoquímica de ozônio	1,65E-04	kg Nox eq.
	Stratospheric ozone depletion	Destruição do ozônio estratosférico	2,31E-08	kg CFC-11 eq.
	Terrestrial acidification	Acidificação terrestre	3,00E-04	kg SO ₂ eq.
	Terrestrial ecotoxicity	Ecotoxicidade terrestre	7,59E-01	kg 1,4-DB eq.

Fonte: (próprio autor)

Tabela 11 – Resultados metodologia TRACI 2.1.

	Categoria de Impacto	Descrição	Antena Wifi	Indicador de medida
TRACI 2.1	GWP	Potencial de aquecimento global	8,59E-02	kg CO2 eq.
	AP	Acidificação	3,67E-04	kg SO2 eq.
	EP	Eutrofização	5,56E-05	kg N eq.
	ODP	Depleção da camada de ozônio	9,93E-11	kg CFC 11 eq.
	Ecotox air	Ecotoxicidade	4,52E-02	CTUe
	Human health particulate air	Ar particulado para a saúde humana	2,97E-05	kg PM2.5 eq.
	Human toxicity, cancer	Toxicidade humana, câncer	7,63E-11	CTUh
	Human toxicity, non cancer	Toxicidade humana, não câncer	1,54E-08	CTUh
	Resources, fossil fuels	Recursos de combustíveis fósseis	1,98E-01	MJ surplus energy
	Smog air	Ar poluído	3,47E-03	kg O3 eq.
	GWP, excl carbon biogenic	Potencial de aquecimento global, excluindo carbono biogênico	8,60E-02	kg CO2 eq.

Fonte: (próprio autor).

ANEXO A – DATASHEET ANTENA WI-FI

Tabela 12 – Datasheet parcial antenna 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



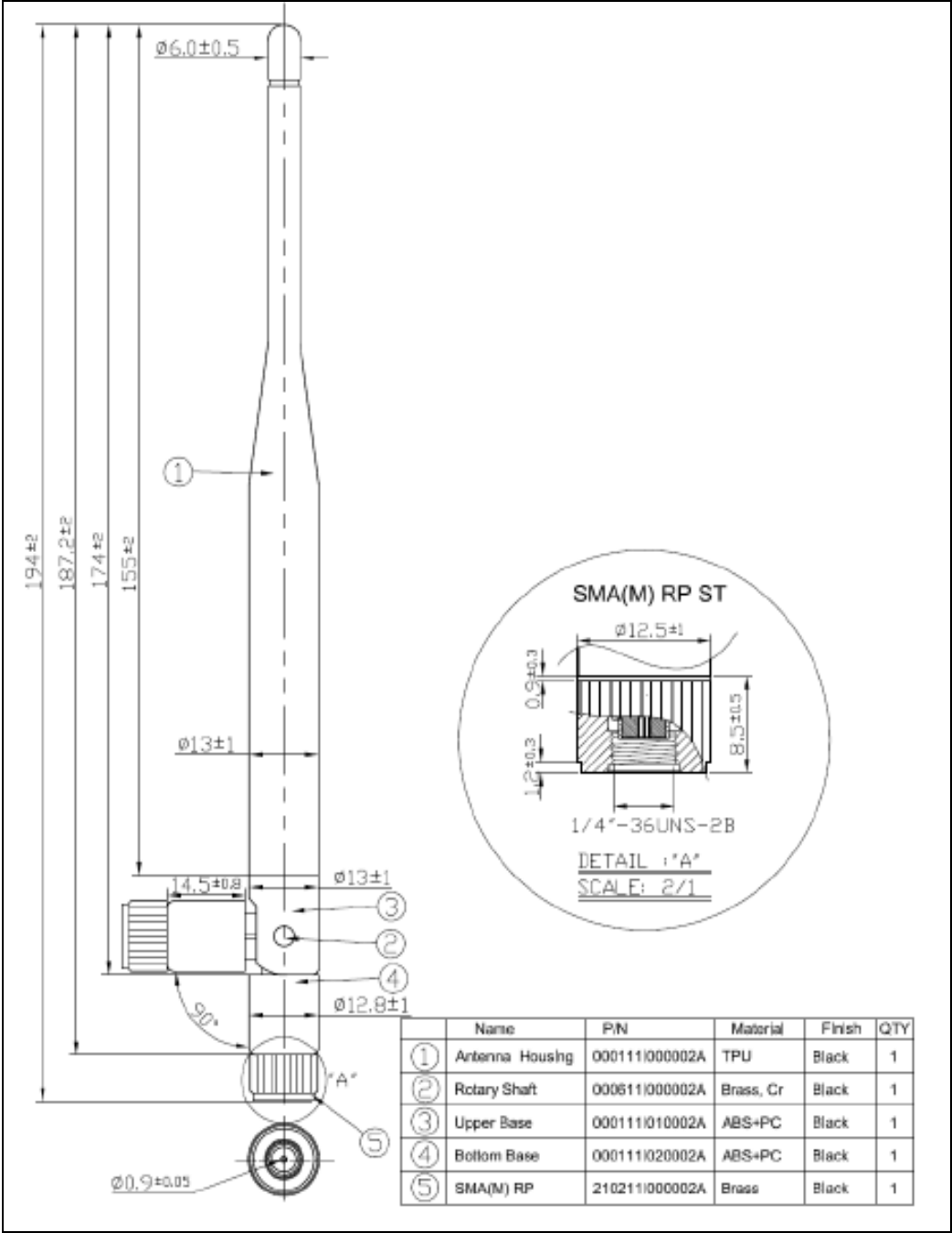
Fonte: (Adaptado de Taoglass Datasheets, 2018).

Tabela 13 – 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).

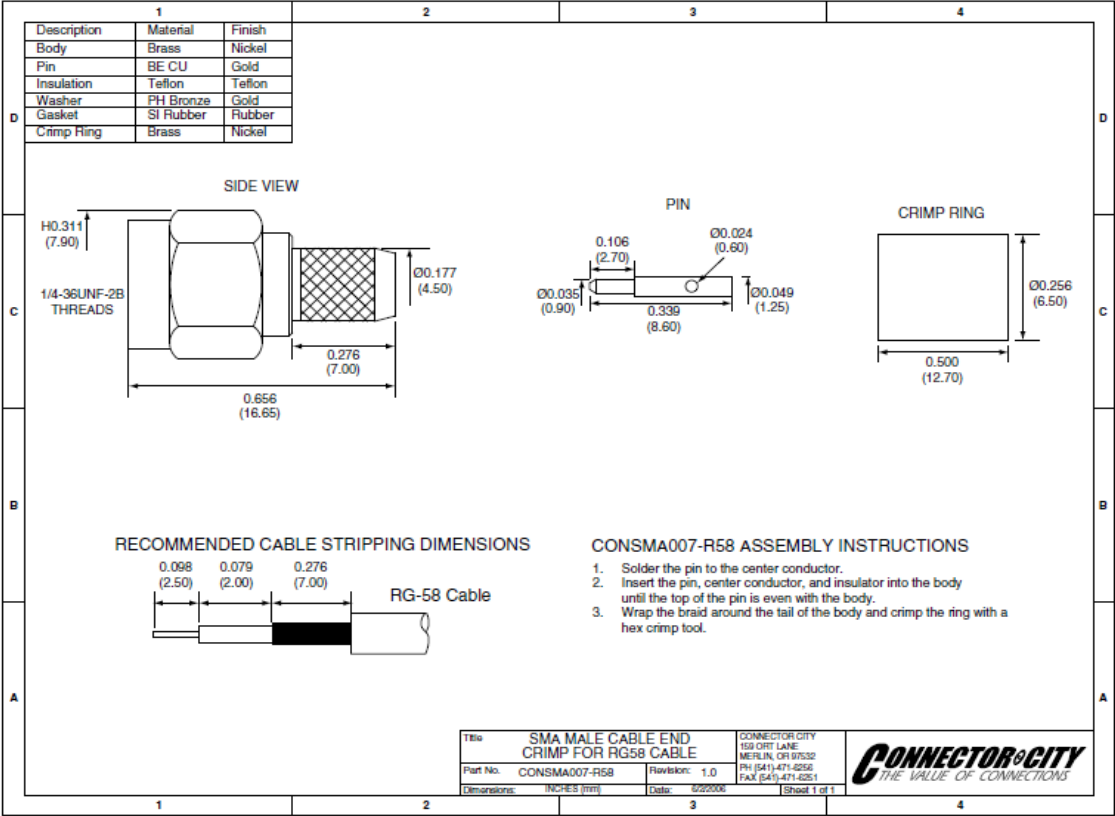
Tabela 14 – Datasheet parcial Antena Wi-fi Taoglass, projeto esquemático.



Fonte: (Adaptado de Taoglass Datasheets, 2018).

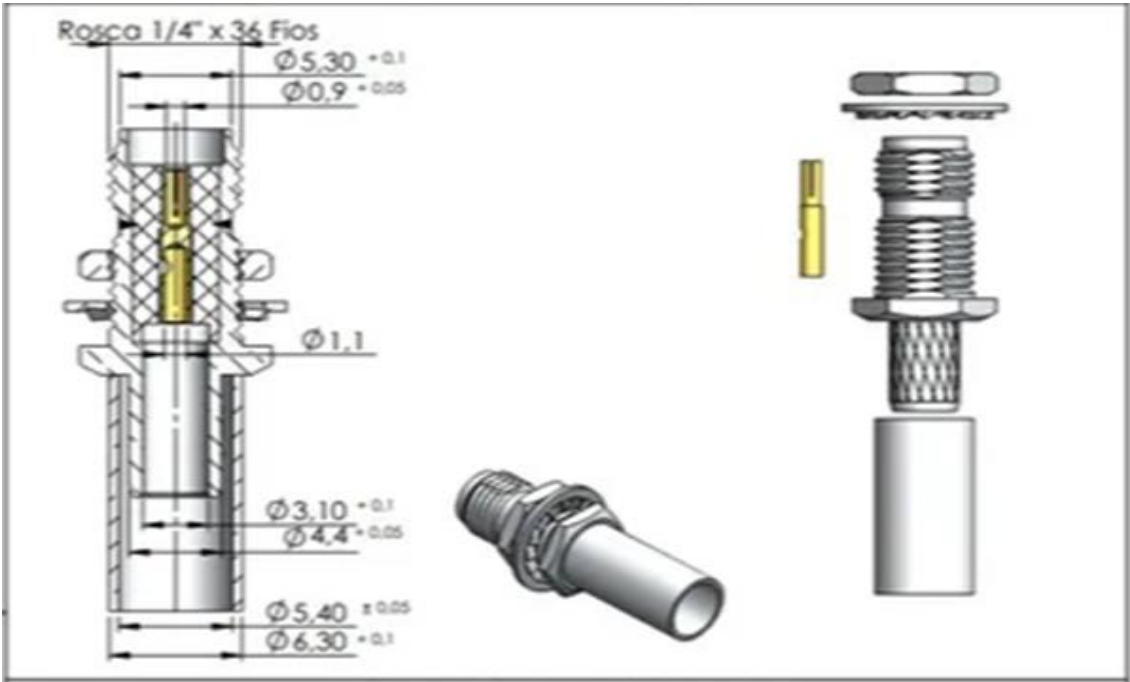
ANEXO B – DATASHEET CONECTOR SMA

Tabela 15 - Datasheet parcial conector SMA, projeto esquemático.



Fonte: (Adaptado de Conector City, 2006).

Tabela 16 - Datasheet parcial estrutura interna conector SMA.



Fonte: (Adaptado de Conector City, 2006)

ANEXO C – RELATÓRIO DE PRODUÇÃO EMPRESA CHINESA

Tabela 17 – 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)

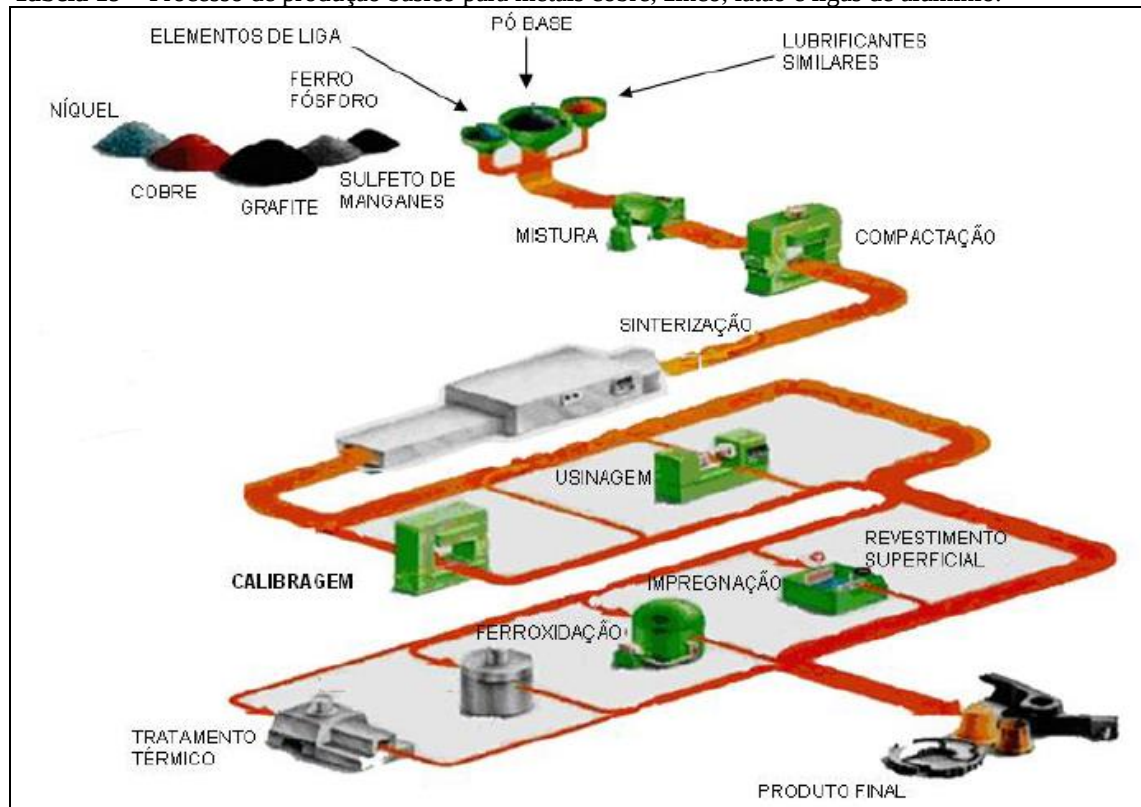
Tabela 18 – Continuação relatório parcial de produção empresa Shenzhen Yetnorson.

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	6	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

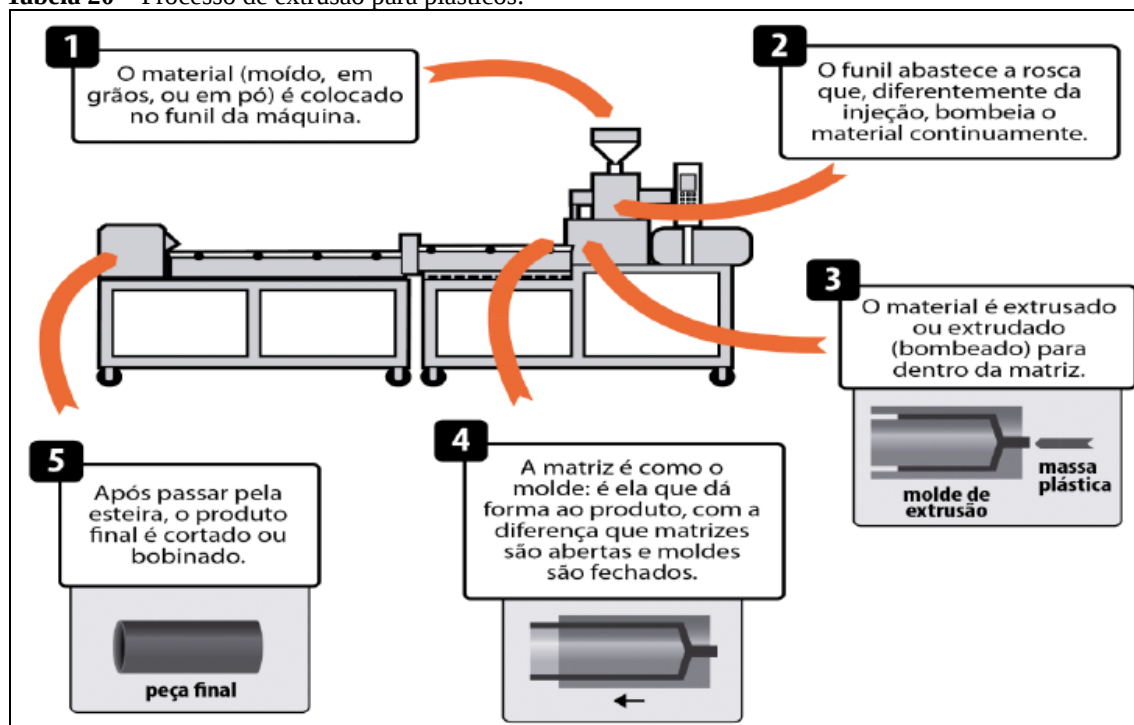
Tabela 19 – Processo de produção básico para metais cobre, zinco, latão e ligas de alumínio.



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

ANEXO E – PROCESSO DE EXTRUSÃO PARA POLÍMEROS

Tabela 20 – Processo de extrusão para plásticos.



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