



Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Faculdade de Arquitetura
Curso de Design de Produto

BRUNA TOGNI DE OLIVEIRA

**DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL
PARA CICLISTAS BASEADO NO ESTUDO DA BIÔNICA**

Porto Alegre
2019

BRUNA TOGNI DE OLIVEIRA

**DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL
PARA CICLISTAS BASEADO NO ESTUDO DA BIÔNICA**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Design de Produto, da Faculdade de Arquitetura, como requisito para a obtenção do título de Designer.

Orientador: Prof. Dr. Everton Sidnei Amaral da Silva

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Clariana Fischer Brendler

Ma. Jaqueline Dilly

Me. Victor Dantas

Porto Alegre, ____ de julho de 2019.

RESUMO

A indústria vem cada vez mais buscando o desenvolvimento de produtos contemplados por soluções otimizadas, especialmente no que diz respeito a equipamentos de proteção para práticas como esporte, lazer e deslocamento, como o ciclismo, por exemplo. Neste sentido, o presente Trabalho de Conclusão de Curso tem como objetivo desenvolver um produto do ramo de proteção individual utilizando o estudo da biônica como ferramenta de trabalho. Este estudo busca identificar atributos de elementos da natureza que sejam análogos ao produto a ser projetado. Dentro deste contexto, foram utilizadas estruturas biológicas caracterizadas principalmente por seus aspectos de proteção, de estrutura e de morfologia, resultando no desenvolvimento conceitual tecnicamente viável de um equipamento de proteção individual (EPI) apoiado no estudo da biônica para práticas que envolvem a utilização de bicicleta.

Palavras-chave: bicicleta; equipamento de proteção; biônica; natureza.

ABSTRACT

The industry is increasingly looking for the development of products designed by optimized solutions, especially concerning protective equipment for practices such as sports, leisure and transportation, like cycling, for example. In this sense, the present Capstone Project aims to develop a product of the branch of personal protection using the study of bionic as a working tool. This study seeks to identify attributes of elements of nature that are analogous to the product to be designed. Within this context, biological structures characterized specially by their protective, structural and morphological aspects, resulting in the technically feasible conceptual development of a personal protective equipment (PPE) supported by the bionic study for practices involving the use of bicycle.

Keywords: bicycle; protective equipment; bionic; nature.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição das metodologias utilizadas no projeto.....	21
Figura 2 - Cronograma de atividades do TCC I.....	22
Figura 3 - Exemplo da biônica aplicada ao Crystal Palace.....	28
Figura 4 - Exemplo da biônica aplicada ao velcro.....	29
Figura 5 - Exemplo da biônica aplicada ao Mercedes-Benz Bionic.....	30
Figura 6 - Élitro de uma espécie predadora de besouro.....	32
Figura 7 - Partes de um besouro.....	32
Figura 8 - Macrofotografias dos Coleópteros coletados para o projeto.....	34
Figura 9 - Macrofotografias das amostras vegetais coletadas para o projeto.....	35
Figura 10 - Observação na lupa óptica.....	36
Figura 11 - Processo de macrofotografia.....	37
Figura 12 - Procedimento de <i>focus stacking</i>	38
Figura 13 - Amostra da família <i>Chrysomelidae</i> na lupa e na macrofotografia.....	39
Figura 14 - Pernas da amostra (<i>Scarabaeidae</i>) na lupa e na macrofotografia.....	40
Figura 15 - Amostra da família <i>Scarabaeidae</i> na lupa e na macrofotografia.....	41
Figura 16 - Amostra da família <i>Curculionidae</i> na lupa e na macrofotografia.....	42
Figura 17 - Amostra da família <i>Carabidae</i> na lupa e na macrofotografia.....	43
Figura 18 - Amostra da casca de noz pecan na lupa e na macrofotografia.....	44
Figura 19 - Amostra da casca de pistache na lupa e na macrofotografia.....	45
Figura 20 - Amostra do fruto (casca) de pau-ferro na lupa e na macrofotografia....	46
Figura 21 - Equipamentos usados para análise em MEV.....	47
Figura 22 - Procedimentos e materiais para análise no MEV.....	47
Figura 23 - Análise no MEV do élitro do besouro da família <i>Scarabaeidae</i>	48
Figura 24 - Análise no MEV do élitro do besouro da família <i>Curculionidae</i>	49
Figura 25 - Análise no MEV do élitro do besouro da família <i>Carabidae</i>	50
Figura 26 - Análise no MEV da casca de noz.....	50
Figura 27 - Análise no MEV da casca de pistache.....	51
Figura 28 - Diagrama de Mudge para as necessidades do usuário.....	59
Figura 29 - Orientação corporal dos membros inferiores na bicicleta.....	69
Figura 30 - Diagrama de Mudge para os requisitos do usuário.....	71

Figura 31 - Função global e subfunções do produto.....	76
Figura 32 - Personas do projeto.....	79
Figura 33 - Cenários do projeto.....	81
Figura 34 - Realização do grupo focal.....	82
Figura 35 - Painel de estilo de vida.....	83
Figura 36 - Painel de expressão do produto.....	84
Figura 37 - Painel de tema visual.....	85
Figura 38 - Matriz morfológica.....	87
Figura 39 - Sketch inicial dos aspectos conforto, performance e armazenagem.....	88
Figura 40 - Sketch inicial dos aspectos fixação e ajuste e proteção.....	89
Figura 41 - Sketch inicial dos aspectos estabilidade, proteção, conforto e custo....	89
Figura 42 - Alternativa 1.....	91
Figura 43 - Alternativa 2.....	92
Figura 44 - Alternativa 3.....	93
Figura 45 - Refinamento da alternativa junto ao grupo focal.....	96
Figura 46 - Modelo 3D final desenvolvido.....	99
Figura 47 - Esquema representando as partes constituintes do EPI.....	100
Figura 48 - Protetores do EPI.....	100
Figura 49 - Detalhe da estrutura alveolar porosa do EPI.....	101
Figura 50 - Esquema representando a distribuição dos materiais do EPI.....	102
Figura 51 - Grade de tamanhos femininos do EPI.....	103
Figura 52 - Grade de tamanhos masculinos do EPI.....	103
Figura 53 - Detalhe da junção e do acabamento do EPI.....	104
Figura 54 - Representação da adaptabilidade do EPI.....	105
Figura 55 - Vista explodida do EPI.....	107
Figura 56 - Modelo físico das proteções do EPI.....	109

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Sintetização dos princípios dos elementos naturais.....	52
Quadro 2 - Informações extraídas da questão de grau de satisfatoriedade.....	56
Quadro 3 - Necessidades dos usuários.....	58
Quadro 4 - Análise diacrônica de similares.....	60
Quadro 5 - Similares selecionados para análise.....	61
Quadro 6 - Similares analisados estruturalmente.....	62
Quadro 7 - Similares analisados funcionalmente.....	63
Quadro 8 - Similares analisados morfologicamente.....	64
Quadro 9 - Similares analisados quanto ao seu uso.....	65
Quadro 10 - Análise comparativa dos similares selecionados.....	67
Quadro 11 - Conversão das necessidades do usuário em requisitos e atributos....	70
Quadro 12 - Priorização dos requisitos do usuário e seus pesos.....	71
Quadro 13 - Conversão dos requisitos do usuário em requisitos de projeto.....	72
Quadro 14 - Priorização dos requisitos de projeto.....	73
Quadro 15 - Conversão dos requisitos de projeto em especificações do produto...	75
Quadro 16 - Matriz de decisão da alternativa.....	95
Quadro 17 - Descrição dos componentes do EPI.....	108

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

TA - Transporte Ativo

EPI - Equipamento de Proteção Individual

MCN - Museu de Ciências Naturais

MEV - Microscópio Eletrônico de Varredura

BID - *Bio-Inspired Design*

DIESPORTE - Diagnóstico Nacional do Esporte

LdSM - Laboratório de Design e Seleção de Materiais

ABS - *Acrylonitrile butadiene styrene*

PU - Poliuretano

PP - Polipropileno

TPE - *Thermoplastic Elastomers*

EVA - *Ethylene Vinyl Acetate*

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

TPU - *Thermoplastic Polyurethane*

SUMÁRIO

1. PLANEJAMENTO DE PROJETO.....	11
1.1. INTRODUÇÃO.....	11
1.2. JUSTIFICATIVA.....	12
1.3. PROBLEMA DE PROJETO.....	14
1.4. OBJETIVOS.....	14
1.4.1. Objetivo geral.....	15
1.4.2. Objetivos específicos.....	15
1.5. ABORDAGEM METODOLÓGICA.....	16
1.5.1. Metodologia de Back et al. (2013).....	16
1.5.2. Proposta metodológica de Kindlein Jr. et al. (2002).....	17
1.5.3. Metodologia de Platcheck (2012).....	19
1.5.4. Metodologia adaptada e etapas de desenvolvimento do projeto. 20	20
1.5.5. Cronograma.....	21
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	23
2.1. A UTILIZAÇÃO DE EPI EM PRÁTICAS ENVOLVENDO USO DE BICICLETA.....	23
2.2. CONCEITUAÇÃO DA BIÔNICA.....	24
2.3. TRANSFERÊNCIA ANALÓGICA E SUA CONTRIBUIÇÃO EM PROJETOS DE DESIGN.....	26
2.4. EXEMPLOS DE ESTUDO DA BIÔNICA.....	27
2.4.1. Crystal Palace.....	27
2.4.2. Velcro.....	28
2.4.3. Mercedes-Benz Bionic.....	29
3. PESQUISA EXPLORATÓRIA.....	31
3.1. ENTREVISTA COM ESPECIALISTA DA ÁREA DE BIOLOGIA.....	31
3.2. ANÁLISE DE ESTRUTURAS NATURAIS.....	33
3.2.1. Seleção e coleta das amostras.....	33
3.2.2. Observação das amostras.....	35
3.2.3. Análise no Microscópio Eletrônico de Varredura – MEV.....	46
3.3. CONSIDERAÇÕES DA ANÁLISE DE ESTRUTURAS NATURAIS.....	51

4. PROJETO INFORMACIONAL.....	53
4.1. IDENTIFICAÇÃO DO USUÁRIO.....	53
4.1.1. Entrevista com o usuário.....	53
4.1.2. Questionário.....	55
4.1.3. Necessidades do usuário.....	57
4.1.4. Priorização das necessidades do usuário.....	58
4.2. ANÁLISE DIACRÔNICA DE SIMILARES.....	59
4.3. ANÁLISE SINCRÔNICA DE SIMILARES.....	60
4.3.1. Análise estrutural.....	61
4.3.2. Análise funcional.....	62
4.3.3. Análise morfológica.....	63
4.3.4. Análise de uso.....	64
4.4. CONSIDERAÇÕES DA ANÁLISE DE SIMILARES.....	65
4.5. ASPECTOS DA REGIÃO DA PELVE AO JOELHO.....	68
5. ESPECIFICAÇÕES DE PROJETO.....	70
5.1. REQUISITOS DO USUÁRIO.....	70
5.2. REQUISITOS DO PROJETO.....	71
5.2.1. Conversão dos requisitos de projeto em especificações do produto.....	74
5.3. FUNÇÃO GLOBAL DO PRODUTO.....	76
6. PROJETO CONCEITUAL.....	77
6.1. DIRETRIZES DO PROJETO.....	77
6.2. CONCEITO DA PROPOSTA.....	78
6.2.1. Personas.....	78
6.2.2. Cenários.....	80
6.2.3. Grupo focal.....	81
6.2.4. Painéis semânticos.....	82
6.2.5. Definição do direcionamento de projeto.....	85
6.3. GERAÇÃO DE ALTERNATIVAS.....	86
6.3.1. Matriz morfológica.....	86
6.3.2. Sketches iniciais.....	87
6.3.3. Alternativa 1.....	90

6.3.4. Alternativa 2.....	91
6.3.5. Alternativa 3.....	92
6.3.6. Seleção da alternativa.....	94
6.3.7. Grupo focal de refinamento.....	95
7. DETALHAMENTO DO PRODUTO.....	98
7.1. VISÃO GERAL DO SISTEMA.....	98
7.2. MATERIAIS E PROCESSOS.....	105
7.3. MODELO FÍSICO.....	108
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	110
REFERÊNCIAS.....	112
APÊNDICE.....	118
ANEXOS.....	132

1. PLANEJAMENTO DO PROJETO

A seguir, serão apresentadas informações principais sobre o projeto a ser realizado, como o cenário em que se desenrola, os objetivos e sua metodologia.

1.1. INTRODUÇÃO

O crescimento da população urbana e a preocupação com o desenvolvimento sustentável vem cada vez mais incentivando o estudo e a implantação, em diversos âmbitos, de medidas e de estratégias que possam cooperar para a sustentabilidade em ambientes urbanos. Tratando-se de deslocamentos, este aspecto pode ser observado por meio da busca pela mobilidade urbana sustentável que, segundo Campos (2007), compreende o uso de dispositivos de transporte ativo (TA), isto é, à propulsão humana, como por exemplo, a bicicleta. No que concerne à prática de esportes de modalidades praticadas ao ar livre, o ciclismo é a atividade em maior ascensão no Brasil (CAMPOS, 2007).

Estas práticas coexistem com o caos das cidades, com o tráfego intenso de automóveis motorizados e com as vias urbanas ainda muito carentes de melhorias. Dessa maneira, muitas pessoas recorrem ao uso de equipamentos de proteção individual (EPI) como capacete, cotoveleiras e joelheiras, especialmente para se proteger contra impactos, mesmo não tendo sua obrigatoriedade prevista por lei no Brasil. De acordo com Cardoso (2014), o uso de EPIs, contudo, existe há muito mais tempo, originando-se no período em que o homem primitivo utilizava peles de animais para se proteger. No decorrer do tempo, essa necessidade foi ganhando outros vieses e as vestimentas de proteção foram sendo aperfeiçoadas, como é o caso das armaduras e dos elmos, utilizados por cavaleiros na Idade Média. A evolução do uso de EPIs teve um salto no período da Revolução Industrial, com o surgimento de metalúrgicas, de mineradoras e de fundições (CARDOSO, 2014).

Com o desenvolvimento tecnológico, houve um grande aumento de oferta de materiais e de processos, bem como a disseminação do uso em áreas como o deslocamento e o desporto, impulsionando a busca por inovações relacionadas aos EPIs (GUANABARA et al., 2002). Isto inclui desde melhorias na forma e na função até atributos como praticidade e facilidade de montagem e de desmontagem. Tendo em vista que a natureza passou por um processo evolutivo complexo, voltar-se para o

meio natural a fim de extrair princípios de elementos biológicos aplicáveis a soluções de design faz cada vez mais sentido, conforme Guanabara et al. (2002).

Há muitos anos que o ser humano se utiliza da natureza como fonte de ideias para solucionar problemas. Os materiais de origem natural têm uma ampla relação com a história da humanidade, cumprindo um papel essencial para o crescimento das civilizações e para o desenvolvimento de inovações tecnológicas em muitos âmbitos (ASHBY; JOHNSON, 2011). A observação proposital de sistemas biológicos e a utilização de princípios da natureza norteiam invenções desde os tempos mais remotos, em que o homem primitivo usufruía da natureza como fonte de inspiração para solucionar problemas diários. Instrumentos utilizados desde a Idade da Pedra como arpões, por exemplo, possuem pontas que se assemelham a espinhos de plantas e a ferrões de insetos (RAMOS, 1993).

Seguindo essa tendência, os projetos inspirados em sistemas biológicos, segundo Beynus (2012), estão ganhando cada vez mais força no design como uma alternativa de se pensar em consciência ambiental e em sustentabilidade. Atualmente, questões relacionadas à sustentabilidade e à produção mais limpa estão estreitamente ligadas à preservação do ecossistema, uma vez que aspectos como a redução de impactos ambientais, especialmente no uso de matéria-prima, na fabricação e na montagem e desmontagem devem ser considerados no projeto do produto.

Neste âmbito, Salvador (2003) aponta que a biônica consiste em um método relacionado ao ecodesign que visa ao desenvolvimento de produtos sustentáveis por meio do estudo de elementos biológicos, promovendo a interface entre princípios naturais e projetos industriais de produto. Desta forma, o uso da biônica como uma metodologia atrelada ao desenvolvimento de produtos reforça a necessidade de se repensar o rumo tomado pela produção industrial (GUANABARA et al., 2002).

1.2. JUSTIFICATIVA

A mobilidade urbana sustentável, ou seja, a forma ativa de transporte, é uma das apostas estratégicas essenciais para o século XXI e, conseqüentemente, para a melhoria da qualidade de vida nos municípios (BANISTER, 1995). Segundo a Associação Transporte Ativo (2003), essa forma de locomoção consiste em todo o tipo de transporte à propulsão humana, como, por exemplo, bicicletas, triciclos, patins,

skates e patinetes, isto é, tudo que permite a mobilidade das pessoas tendo como força motriz o esforço do próprio corpo. Segundo o Ministério das Cidades (BRASIL, 2007), o uso da bicicleta, dentre os outros meios de TA, é o que mais vem ascendendo no país, de forma que o Brasil é responsável pela sexta maior frota de bicicletas entre todos os países do mundo. Rubim e Leitão (2013) apontam que mais de 50% dos domicílios brasileiros possuem carro ou motocicleta. Todavia, a parte majoritária da população não tem renda para adquirir tais tipos de veículo, utilizando a bicicleta para realizar suas atividades, de maneira a tornar essa forma de deslocamento muito importante em muitas cidades brasileiras (BOARETO, 2010).

No âmbito dos esportes, o Ministério do Esporte (BRASIL, 2015) afirma, em seu Diagnóstico Nacional do Esporte (DIESPORTE), que o ciclismo está em 2º lugar no que se refere às modalidades de atividades físicas mais praticadas e o 9º lugar entre os esportes mais praticados pelos indivíduos brasileiros no ano de 2013, atestando que uma grande parcela da população se utiliza de equipamentos por propulsão humana, em especial a bicicleta, com frequência.

Os usuários recorrentes de equipamentos de propulsão humana, contudo, estão na categoria de pessoas vulneráveis, junto com pedestres e motociclistas, pois são considerados suscetíveis a maiores danos físicos em acidentes de trânsito, que são frequentes em vários países, ocasionando mortes e incapacidades. Em um estudo realizado por Gonçalves et al. (1997), em Belo Horizonte, capital de Minas Gerais, relativo às características de pessoas envolvidas em acidentes com veículos de duas rodas, 40,0% das vítimas eram ciclistas. As causas de acidentes deste tipo envolvem aspectos como o fato de que a maioria dos ciclistas usam a bicicleta como uma forma de lazer, reduzindo a consciência do risco e diminuindo a adesão a medidas de prevenção (GONÇALVES et al., 1997). Ainda neste âmbito, o estudo de Thompson e Rivara (2001) mostrou que traumas cranianos e lesões nas extremidades do corpo, como pernas e braços, representaram a maior parcela das lesões corporais sofridas pelos ciclistas.

A pesquisa feita por Rodrigues et al. (2014), cujo objetivo era descrever as características de vítimas de acidentes de motocicleta e de bicicleta no município de São Paulo, no período de 2011 a 2013, mostrou que o principal diagnóstico de lesão entre usuários de bicicleta foi o traumatismo da perna. Outro estudo realizado no estado de São Paulo, que buscava analisar os mecanismos de trauma, as lesões e o perfil de gravidade das vítimas, revelou que as regiões mais afetadas nos ciclistas

traumatizados compreendem simultaneamente a pelve e os membros inferiores, correspondendo a 32,2% de todas as lesões ocorridas (BATISA et al., 2006). De acordo com Maki et al. (2003), em acidentes envolvendo veículos automotores, as lesões sofridas por ciclistas estão fortemente ligadas à vulnerabilidade da posição de joelhos dobrados, que é a região a ser afetada diretamente pelo impacto. Dessa forma, para os ciclistas, os membros extremos são justamente as áreas mais desprotegidas, tendo em vista que o equipamento de segurança mais utilizado, o capacete, protege somente a região da cabeça.

Tendo estes aspectos em vista, a utilização de proteção individual para usuários de bicicleta se mostra importante no cenário de prevenção de acidentes, principalmente envolvendo traumas em regiões vulneráveis que carecem de proteção como é o caso das pernas. Além disso, é essencial se repensar as formas de proteção individual disponíveis no mercado hoje, buscando a maior segurança e a maior adesão do usuário a estes dispositivos.

Nesse sentido, a biônica é fundamental para o desenvolvimento de produtos inovadores que objetivam aproveitar de forma ecoeficiente os materiais, a geometria e as formas dos modelos naturais (SALVADOR, 2003). No caso deste projeto em especial, princípios de proteção característicos de muitos elementos biológicos são de grande importância para a projeção de um sistema de proteção contra traumas para ciclistas, uma vez que a natureza desenvolve há milhares de anos as soluções mais adequadas de proteção e de aproveitamento de materiais.

1.3. PROBLEMA DE PROJETO

O problema de projeto consiste na seguinte questão: como desenvolver equipamentos de proteção individual para usuários de bicicleta a partir do estudo da biônica?

1.4. OBJETIVOS

Nesta etapa, são apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos relativos a este trabalho, a fim de elucidar o propósito da pesquisa.

1.4.1. Objetivo geral

Este trabalho tem como objeto principal desenvolver um sistema de proteção individual para as pernas que forneça proteção adequada e efetiva para práticas que envolvem o uso de bicicleta, tendo como base de projeto de produto o estudo da biônica, de forma a contribuir para a segurança e para o bem-estar do usuário, utilizando-se de soluções e de inspirações identificadas em princípios de sistemas naturais.

1.4.2. Objetivos específicos

Estão elencados a seguir os objetivos específicos deste projeto, que foram organizados de acordo com as etapas de TCC I e de TCC II. Abaixo estão expressos os objetivos específicos referentes à etapa de TCC I.

a) Pesquisar e coletar dados sobre o cenário de uso de aparatos de proteção individual para atividades que usam bicicleta, a fim de verificar quais as oportunidades de implantação do novo sistema.

b) Coletar dados para fundamentação do projeto, incluindo o estudo de estruturas da natureza e a assimilação do estado da arte do produto a ser desenvolvido.

c) Identificar e avaliar EPIs para ciclistas existentes no mercado que apresentem relações análogas declaradas no contexto da biônica.

d) Identificar referências da natureza com potenciais de analogia para atender aos requisitos de projeto identificados.

e) Apresentar uma proposta do conceito do projeto a ser desenvolvido no TCC II.

A seguir, constam os objetivos específicos propostos para a etapa de TCC II.

f) Projetar um produto capaz de satisfazer os requisitos do usuário e os requisitos de projeto especificados sob influência dos melhores referenciais identificados na natureza.

g) Desenvolver um produto que apresente qualidades competitivas com os produtos de funções similares existentes.

h) Validar a concepção final do produto por meio de um modelo funcional para simulação com o usuário.

1.5. ABORDAGEM METODOLÓGICA

A seguir, são apresentadas as metodologias utilizadas no decorrer do projeto e o cronograma de atividades, bem como a descrição do funcionamento de cada uma das metodologias e como elas estão adaptadas e organizadas em etapas de desenvolvimento do projeto.

1.5.1. Metodologia de Back et al. (2013)

A metodologia empregada como balizadora no desenvolvimento deste projeto é a de Back et al. (2013), do livro Projeto Integrado de Produtos. Para a realização de um projeto, é importante que exista um planejamento efetuado e gerenciado, incorporado a um sistema pré-determinado constituído de elementos que propiciam a organização das atividades a serem concebidas, como períodos de realização, meios necessários para tanto, ferramentas a serem utilizadas e especificação de início e término do projeto (BACK et al., 2013). Sendo assim, o desenvolvimento do projeto está dividido em três fases principais: Planejamento de Projeto, Projeto Informacional e Projeto Conceitual, sendo as duas primeiras etapas realizadas no período de TCC I e a última etapa no período de TCC II.

Para o melhor entendimento do escopo de cada etapa de projeto segundo a metodologia de Back et al. (2013), estão descritas a seguir as principais informações de cada uma delas.

a) O Planejamento de Projeto é a fase inicial desta metodologia e tem como objetivo a apresentação das principais informações sobre o projeto a ser desenvolvido. Nesta etapa, é definido o escopo do projeto e do produto, a justificativa do projeto, seus objetivos e a metodologia a ser usada. Segundo Back et al. (2013), os seguintes passos consistem em organizar o planejamento do projeto de produto, de forma a nortear a elaboração das etapas subsequentes.

b) O Projeto Informacional tem o intuito de determinar os preceitos do projeto baseando-se nas informações reunidas na fase anterior. Dessa maneira, são empregadas diferentes ferramentas que visam à identificação de diretrizes de projeto, necessidades dos usuários e requisitos de produto. Esta é, portanto, uma etapa crucial para o desenvolvimento do produto, uma vez que estende o entendimento do projeto para questões funcionais, quantitativas e qualitativas do problema. Outro fator importante dessa etapa consiste nos aspectos que tangem à relação usuário-produto e a relação meio ambiente-produto, considerando o público-alvo do projeto e demais pessoas envolvidas (BACK et al., 2013). A fim de compreender melhor o contexto que envolve a utilização do produto, foram utilizadas ferramentas metodológicas compostas para a obtenção desses dados, como a entrevista e o questionário com usuários e as análises diacrônica e sincrônica, bem como outros recursos auxiliares usados ao longo do desenvolvimento do projeto. Essa análise mais aprofundada dos usuários é de grande importância para a identificação eficiente das necessidades deles, que serão posteriormente convertidas em requisitos e em especificações por meio do QFD (do inglês *Quality Function Deployment*), uma ferramenta de desdobramento da função qualidade (BACK et al., 2013).

c) O Projeto Conceitual engloba o desenvolvimento do produto em si, fundamentado nas especificações de projeto estabelecidas nas fases anteriores. Essa etapa compreende desde a geração de alternativas, que ocorre a partir da determinação do conceito da proposta na etapa anterior, até o detalhamento e a comunicação do projeto. Uma vez que os objetivos funcionais e os preceitos formais, baseados nos requisitos de produto, já foram estabelecidos, realiza-se a geração de alternativas para as soluções que melhor atendam ao sistema artificial, a seleção da solução mais adequada, o detalhamento, a simulação 3D, os modelos volumétricos, os renders e, por fim, o modelo físico. Além disso, é testada a efetividade da aplicação dos princípios ao projeto do produto, estudando-se as adaptações possíveis ao sistema artificial relacionadas a diversos aspectos como análises funcionais e estruturais. Dessa forma, é efetuada uma análise do funcionamento do sistema e uma retroalimentação, se necessária, do modelo biológico estudado.

1.5.2. Proposta metodológica de Kindlein Jr. et al. (2002)

Segundo Kindlein Jr. et al. (2002), a aplicação de uma metodologia adequada no desenvolvimento de um projeto de produto embasado no estudo da biônica é essencial para a efetivação eficiente desse tipo de pesquisa. A aplicação da metodologia tem o objetivo de habilitar o designer em seu processo de pesquisa, otimizando os dados para a sua posterior utilização. Além disso, o processo metodológico possibilita a organização das etapas essenciais ao desenvolvimento do trabalho, viabilizando a ação lógica e o auxílio à orientação de estudo. Dessa forma, esta proposta de metodologia objetiva contribuir de maneira incremental na coleta de informações importantes para as etapas de projeto de produto, fomentando a procura por soluções eficientes (KINDLEIN JR. et al., 2002).

A proposta metodológica do autor, embasada em protocolos experimentais específicos, é utilizada junto à etapa exploratória, com o objetivo de elucidar o entendimento estrutural e funcional da amostra. Este protocolo é composto pelas seguintes etapas e subetapas:

- a) seleção da amostra, que inclui a identificação de necessidades, a preparação do problema, a seleção da amostra em si e as fontes de informação;
- b) coleta das amostras, englobando a saída de campo e a identificação da amostra;
- c) observação da amostra, que compreende a observação a olho nu, a macrofotografia e a análise em lupa óptica, bem como a preparação da amostra, seccionando-a e registrando informações por meio de croquis;
- d) análise no Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), demandando a preparação dos *stubs*, que são suportes para as amostras;
- e) parametrização virtual ou manual, que consiste na simplificação das formas dos aspectos de interesse das amostras;
- f) analogia do sistema natural com o produto, isto é, o estudo da viabilidade de aplicação da analogia entre a amostra biológica pesquisada e o produto a ser desenvolvido;
- g) aplicação projetual, em que é realizado o estudo do funcionamento do sistema e da adaptação dos princípios biológicos quanto às tarefas e às funções envolvidas no uso do produto e aos requisitos do usuário e de projeto.

O referencial teórico da etapa de Planejamento de Projeto também se relaciona, indiretamente, com o método proposto por Kindlein Jr. et al. (2002), apresentando a busca por informações sobre o habitat das amostras, a coleta e estudo

de elementos naturais e as analogias entre modelos biológicos e sistemas artificiais. Além disso, o referencial exemplifica casos de uso da biônica como diretriz de projeto.

Como pesquisa exploratória, aplica-se esta metodologia principalmente para fins de selecionar, coletar, observar e analisar as amostras biológicas. A procura por soluções baseadas em sistemas naturais para solucionar problemas de modelos artificiais (produto) pode tomar duas direções distintas: a primeira é já ter um problema estabelecido e se voltar para a natureza com rumos mais bem definidos, tendo ciência de quais as estruturas naturais mais adequadas a serem analisadas; a segunda consiste na observação de modelos biológicos e na extração de princípios com potencial para serem aplicados na geração de uma solução para um problema que era inicialmente desconhecido (KINDLEIN JR. et al., 2002). Para este projeto, partiu-se da formulação de um problema a partir da identificação de uma oportunidade de desenvolvimento de um produto, cujas soluções foram posteriormente buscadas em analogias de elementos da natureza. A proposta metodológica de Kindlein Jr. et al. (2002) é usada na etapa de Pesquisa Exploratória também com o objetivo de realizar as análises funcional, morfológica, estrutural e de viabilidade do sistema natural escolhido, elencando aspectos que podem vir a contemplar as especificações do produto.

Por fim, essa metodologia se encaixa também na etapa de Projeto Conceitual, contribuindo para a aplicação projetual dos princípios do sistema biológico estudado. Dessa forma, é realizada uma análise da viabilidade e do mecanismo de funcionamento do sistema, bem como uma retroalimentação do modelo natural, caso necessário (KINDLEIN JR. et al., 2002). No Anexo 1, encontram-se etapas descritas na proposta de metodologia dos autores na forma de um fluxograma prático.

1.5.3. Metodologia de Platcheck (2012)

Como metodologia auxiliar, será utilizada nas etapas de Projeto Informacional e, especialmente, de Projeto Conceitual, a metodologia apresentada por Platcheck (2012), própria para o desenvolvimento de produtos sustentáveis sob a ótica do ecodesign. Esta metodologia será usada como complemento à metodologia de Back et al. (2013), principalmente, no processo criativo e na fase de desenvolvimento da solução, atentando para a ecoeficiência.

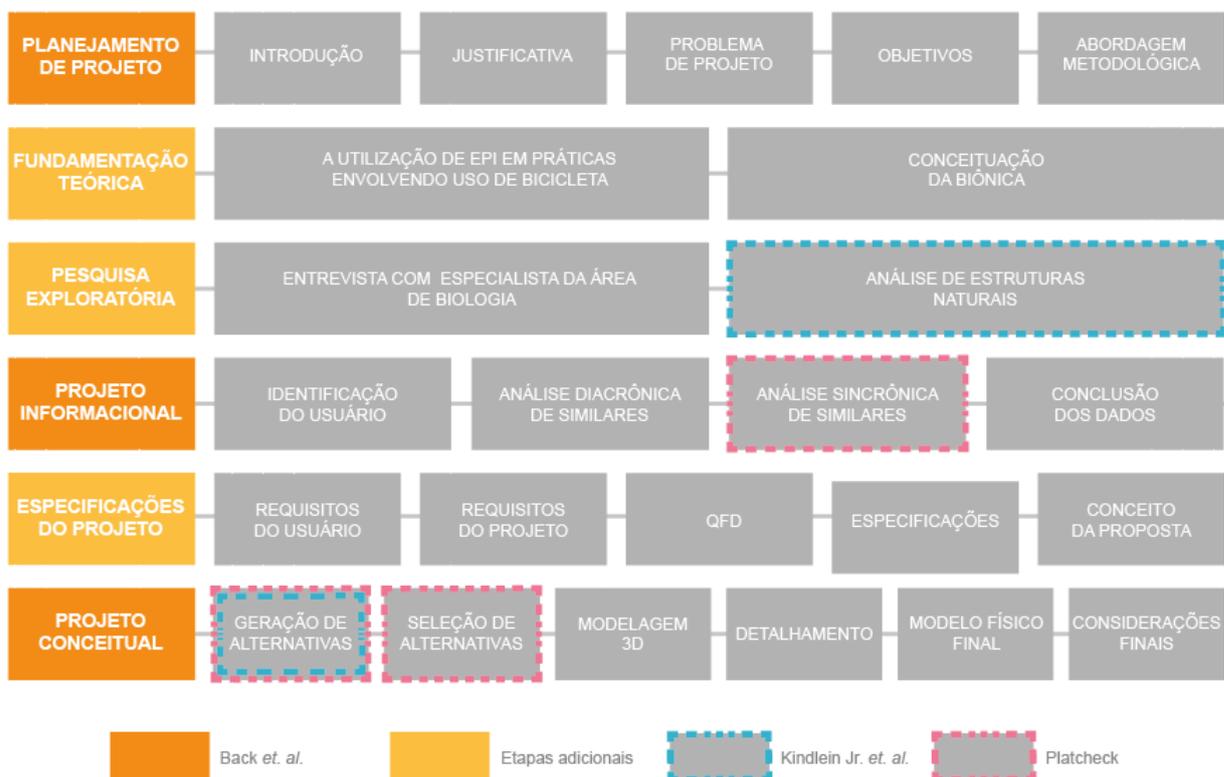
Na etapa de Projeto Informacional, Platcheck (2012) pontua a importância do levantamento do estado da arte, ou seja, da atual situação das necessidades e do problema em questão e como são solucionados. Essa análise pode ocorrer por diversos meios, como registros fotográficos, entrevistas, estudos, publicações, questionários, entre outros, e tem o intuito de preparar o campo de trabalho para a posterior fase de projeção e detalhamento.

A metodologia de Platcheck (2012) é muito utilizada na etapa de Projeto Conceitual, contemplando não somente a determinação de parâmetros projetuais, como também as técnicas de desbloqueio mental, incluindo *brainstorming*, matriz morfológica e, principalmente, o método de busca das analogias da natureza.

1.5.4. Metodologia adaptada e etapas de desenvolvimento do projeto

As abordagens metodológicas descritas anteriormente foram adaptadas e organizadas de forma a contemplarem da melhor maneira o desenvolvimento do trabalho. Nesse contexto, foram inseridas algumas etapas adicionais entre as fases de projeto propostas por Back et al. (2013), como a Fundamentação Teórica, que abarca o estudo do ramo de equipamentos de proteção individual, a fim de contextualizar a aplicação dos princípios naturais, assim como o cenário atual em que o produto se insere; a Pesquisa Exploratória, que se refere ao estudo e à análise mais aprofundada de sistemas biológicos e a etapa de Especificações do Projeto, que engloba a apresentação e hierarquização de requisitos e o conceito do projeto. A seguir, está representada essa organização, diferenciando cada abordagem metodológica usada e suas distribuições ao longo do projeto (Figura 1).

Figura 1 - Distribuição das metodologias utilizadas no projeto.

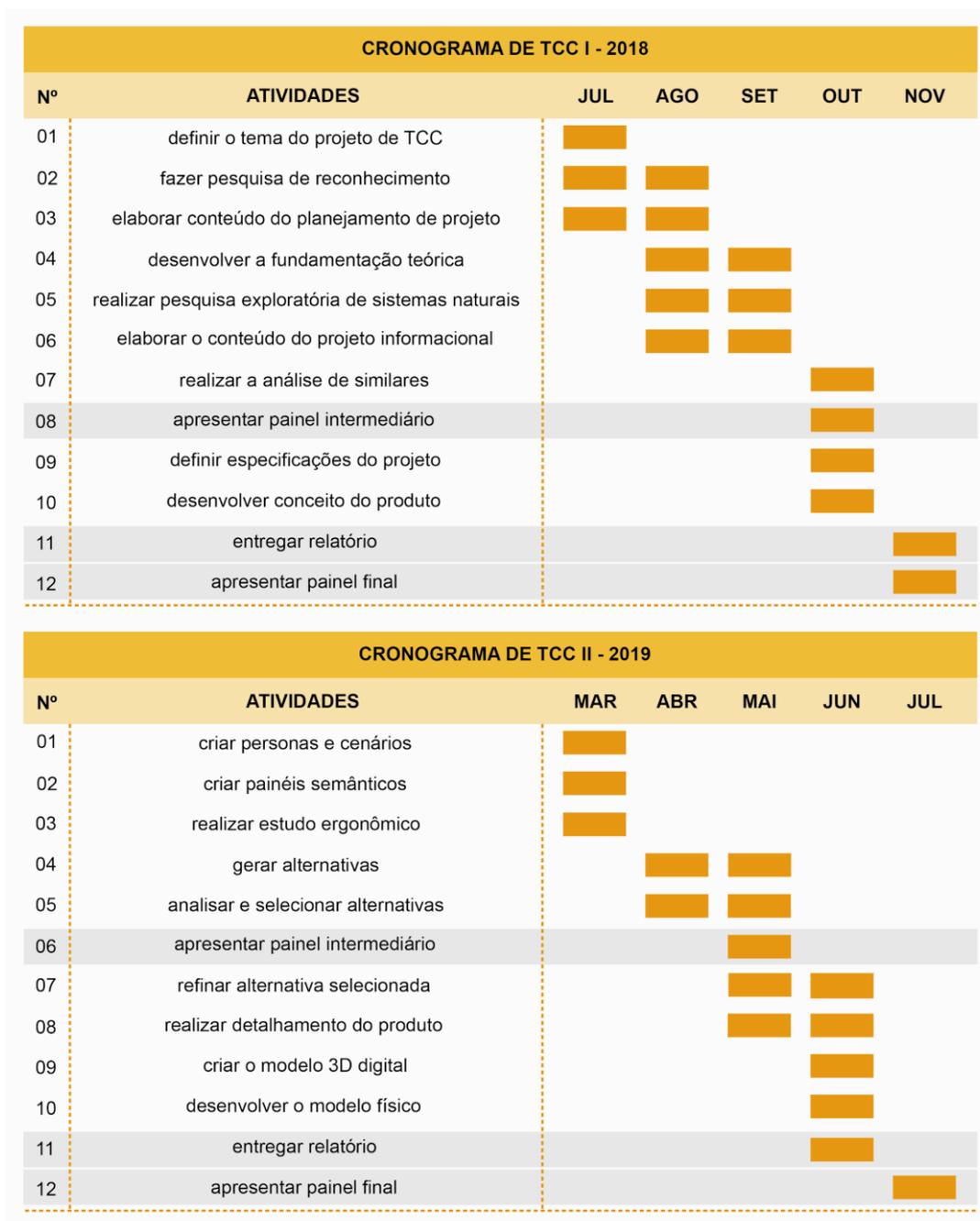


Fonte: adaptado de Back et al. (2013), de Kindlein Jr. et al. (2002) e de Platcheck (2012).

1.5.5. Cronograma

A fim de organizar as tarefas a serem realizadas para a concepção do projeto de TCC I e de TCC II, foi desenvolvido um cronograma de atividades, contendo as datas de início e de término previstas para a execução das tarefas. A Figura 2 apresenta essas informações.

Figura 2 - Cronograma de atividades do projeto.



Fonte: a autora (2018).

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, são apresentados os principais conteúdos necessários para a compreensão e para o desenvolvimento do trabalho. Os assuntos abordados são essenciais para expandir os conhecimentos sobre o cenário do produto a ser concebido e sobre a área da biônica, que norteia o projeto.

2.1. A UTILIZAÇÃO DE EPI EM PRÁTICAS ENVOLVENDO USO DE BICICLETA

Os sistemas de proteção individual mais comuns existentes para usuários de bicicleta consistem em capacete, joelheiras e cotoveleiras. Apesar de seu uso não ser obrigatório no Brasil, alguns países como a Austrália já tornaram seu uso previsto por lei, demonstrando redução no número de acidentes em 70% em um período de dois anos após sua obrigatoriedade, em 1990 (CAMERON et al., 1994). De acordo com Graitcer (1995), a resistência dos ciclistas ao uso dos dispositivos de proteção individual está associada ao custo e a impertinências como o calor e o desconforto.

Segundo um estudo de Martins e Harkot (2016), que apresenta os pontos que influenciam indivíduos a não utilizar proteção em práticas envolvendo bicicleta, é indicado que usuários alegam que nos países que tornaram obrigatório o uso de EPIs, como a Austrália e a Nova Zelândia, a utilização da bicicleta reduziu, respectivamente, em 30% e em 40%. Outro ponto citado é que países desenvolvidos conhecidos pela alta adesão ao uso de bicicleta como a Holanda e a Dinamarca não obrigam a adoção de equipamentos de proteção individual e, mesmo assim, os acidentes envolvendo ciclistas vem diminuindo constantemente. Em contrapartida, isto é explicado, no estudo, pelo grande investimento em infraestrutura, característico destes países, além da cultura crescente de transporte sustentável.

No Brasil, apesar de a adesão ao uso da bicicleta como esporte, como lazer e como meio de transporte estar demonstrando crescimento, a infraestrutura adequada para essas práticas não está disponível para grande parte dos usuários, além de apresentar carência de melhorias. Além disso, o aumento da frota de bicicletas e a baixa adoção dos usuários a dispositivos de proteção individual são citados como explicações para as elevadas taxas de acidentes envolvendo ciclistas no Brasil (GARCIA et al., 2014).

2.2. CONCEITUAÇÃO DA BIÔNICA

O termo "biônica", segundo Koch et al. (2008), designa o processo de interpretação tecnológica de conceitos e de mecanismos desenvolvidos pela natureza. Ou seja, é a interpretação artificial de sistemas encontrados em meios naturais.

Para Guanabara et al. (2002), a biônica procura relacionar a ciência biológica e o desenvolvimento de projeto a partir da pesquisa da natureza. Isso ocorre por meio do estudo e da compreensão da morfologia, do comportamento, das funções e dos mecanismos desses sistemas naturais com potencial para orientar a criação de projetos de produtos inovadores.

De acordo com Soares (2008), a biônica trata de uma ciência que estuda os preceitos da natureza e a potencial aplicação destes na busca por soluções de problemas encontrados pelos seres humanos.

Pode-se dizer, assim, que o estudo da biônica procura pesquisar e identificar, em sistemas naturais, características que sejam possíveis soluções aplicáveis a sistemas artificiais. Assim sendo, os projetos de design podem se beneficiar desse processo, segundo Kindlein Jr. et al. (2002):

A Biônica insere-se neste cenário como uma ferramenta alternativa para o designer, pois é uma ciência multidisciplinar que pesquisa nos sistemas naturais princípios e/ ou propriedades (estruturas, processos, funções, organizações e relações) e seus mecanismos com objetivo de aplicá-los na criação de novos produtos ou para solucionar problemas técnicos existentes na projeção (KINDLEIN JR. et al., 2002, p. 01).

A contribuição da biônica, nesse sentido, pode tomar direções diferentes, podendo ser utilizada como uma ferramenta para estimular o processo criativo ou como um estudo científico que objetiva compreender fenômenos naturais. Neste sentido, o estudo biônico e suas proposições metodológicas contribuem na identificação dos princípios mais adequados às soluções para problemas encontrados, seja na criação de mecanismos inovadores, seja no desenvolvimento de melhorias para sistemas já existentes (MIRALLES; GIULIANO, 2008). Esse processo de identificação de modelos naturais com potencial para inspirar soluções auspiciosas, todavia, é bastante complexo. Segundo Miralles e Giuliano (2008), o

estudo biônico envolve não somente a análise de sistemas naturais, como também um processo de abstração, tornando possível a transferência de observações da natureza para o âmbito artificial.

Quando se volta para a natureza com um ponto de vista baseado na biônica, isso é feito com uma visão fortemente condicionada, entre outros princípios, pela eficiência. O olhar biônico busca, diferentemente de domínios como a contemplação da filosofia ou a atitude descritiva dos naturalistas, uma consonância orientada pela hermenêutica embasada em conceitos técnicos (MIRALLES; GIULIANO, 2008).

Essa busca do ser humano por princípios naturais aplicáveis a outros contextos é algo que já existe há muito tempo. O termo "biônica" propriamente dito, foi usado pela primeira vez em um congresso relacionado ao tema por Jack Steele, major membro da força aérea dos Estados Unidos da América, no ano de 1960. Para Steele, a biônica se trata da ciência dos modelos artificiais cujas características são análogas ou baseadas em sistemas naturais (VANDEN BROECK, 1995).

Existem, portanto, diferentes concepções para o que seria a biônica, mas de maneira geral, há alguns fatores apresentados a seguir que descrevem a influência da natureza na pesquisa, segundo Benyus (2012):

a) tendo a natureza como modelo, de forma a fomentar o estudo de sistemas naturais, imitando-os ou usando-os como inspiração em projetos para resolver problemas de sistemas artificiais;

b) tendo a natureza como mentora, instituindo-a como modelo para difusão de conhecimento e de aprendizado;

c) tendo a natureza como medida, utilizando seu padrão ecológico como instrumento balizador para avaliar as inovações existentes.

Tendo em vista que os sistemas da natureza possibilitam diversas formas de extração de conhecimento, é possível compreender a relevância da biônica - que, segundo Amaral et al. (2002), é uma ciência multidisciplinar - em estudos de diferentes domínios. O design, por exemplo, é uma área que cada vez mais utiliza as analogias de modelos biológicos, transferindo-as para sistemas artificiais, com o intuito de solucionar problemas de projeto.

2.3. TRANSFERÊNCIA ANALÓGICA E SUA CONTRIBUIÇÃO EM PROJETOS DE DESIGN

O processo de analogia se dá por meio da transferência de informações e de ideias de uma fonte para a outra. Para Harrison e Jong (2005), a analogia significa referenciar, realizando-se uma comparação objetiva do cotidiano de fenômenos distintos de maneira que seja possível mapear e enfatizar as semelhanças e diferenças existentes entre eles, tendo como base um conceito científico. Nesse sentido, uma fonte de busca por analogias é a natureza, que carrega grande desenvoltura para soluções evoluídas e cujos elementos possuem características funcionais e morfológicas que servem de estudo e de inspiração (CIDADE et al., 2015). Nas metodologias baseadas na biônica, o repertório de informações sobre essas características de semelhanças e de diferenças é crucial para possibilitar a aplicação de analogias entre sistemas naturais e sistemas criados por humanos, buscando retomar soluções com foco na função, na estrutura e na forma.

Essa transmissão de princípios biológicos e de estruturas funcionais, que ocorrem nos estudos de biônica por meio de analogias com a natureza, são de grande importância para o desenvolvimento de projetos de design. Segundo Cheong et al. (2010), os designers que embasam seus projetos em conhecimentos interdisciplinares, buscando analogias e inspirações em fontes de domínios diferentes às que estão habituados, desenvolvem ideias mais inovadoras. O uso da biônica e suas analogias aplicadas em projetos são um artifício valioso para o designer, afinal, trata-se de uma ciência multidisciplinar que pesquisa sistemas naturais e suas características com o objetivo de aplicá-las no desenvolvimento de novos produtos e de soluções para problemas de projeto existentes (KINDLEIN JR. et al., 2002).

Segundo CHEONG et al. (2010), uma vez que o designer amplia seu campo de obtenção de informação, estabelecendo um escopo mais abrangente para um problema de design, ele está mais propenso a gerar ideias mais criativas, ao passo que sua transferência analógica com domínios de diferentes áreas vai estabelecendo níveis mais profundos de relação. Ademais, é fundamental que o designer considere diferentes capacidades para uma mesma ação de sistemas biológicos, estudando um espectro de informações e desdobrando-as em diversas possibilidades de soluções análogas (CHEONG et al., 2010). Em seu estudo sobre a decomposição de um problema e a transferência analógica no projeto de design, Vattam et al. (2008)

argumentam que o design biologicamente inspirado (*Bio-Inspired Design*, designado pela sigla BID) pode envolver em sua concepção uma gama de analogias que podem resultar na geração de soluções análogas adequadas para problemas complexos.

O processo análogo faz com que o designer mapeie características que se inter-relacionam, como aspetos funcionais e não apenas similaridades visuais. A biônica, neste âmbito, procura entender os mecanismos de solução da natureza, além de possibilitar a transferência analógica deles para sistemas artificiais, o que se diferencia de uma mera imitação dos sistemas naturais (KOCH et al., 2008). Dessa forma, a indústria já vem se baseando nas inesgotáveis soluções providas pela natureza, desenvolvendo produtos cada vez mais criativos orientados pela análise e pelo estudo da biônica.

2.4. EXEMPLOS DE ESTUDO DA BIÔNICA

O estudo da biônica revela que a natureza apresenta características avançadas e eficientes, análogas às soluções utilizadas pelo ser humano. É por meio dessa observação consciente e intencional de sistemas naturais e da analogia entre a natureza e a técnica que casos memoráveis de estudo da biônica existem e perduram até hoje, como os apresentados a seguir.

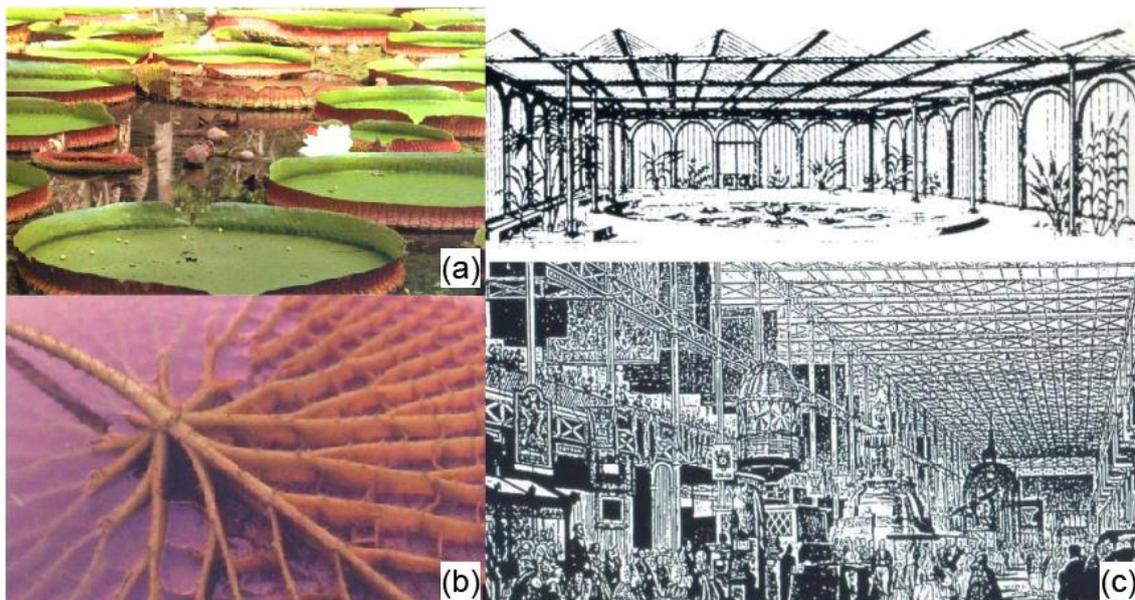
2.4.1. Crystal Palace

O *Crystal Palace* foi uma grande construção localizada no *Hyde Park*, em Londres, projetada em 1851 por Sir Joseph Paxton, um jardineiro e arquiteto inglês. A ideia que deu origem à estrutura dessa enorme construção veio da observação de um sistema natural específico: a folha flutuante da vitória-régia (RAMOS, 1993).

Segundo, Rosa-Osman (2011), a vitória-régia (*Victoria amazonica*) é uma herbácea aquática com folha flutuante que pode atingir até dois metros de diâmetro. Essa espécie é composta por grandes folhas em forma de disco, circundadas por uma borda, tendo seu lado inferior submerso e reforçado por nervuras radiais e bifurcadas. Devido a essa estrutura radial, a folha da vitória-régia pode suportar cargas elevadas enquanto flutua. Foi a partir de um estudo de biônica feito por meio da observação do sistema resistente de nervuras da vitória-régia que Paxton idealizou o projeto do

palácio, conforme a Figura 3, simulando tal sistema e seus princípios de funcionamento com estruturas de ferro fundido e vidro.

Figura 3 - Exemplo da biônica aplicada ao Crystal Palace. Em (a), as folhas da vitória-régia; em (b), as nervuras radiais da parte inferior da vitória-régia; o Palácio de Cristal de Londres, inspirado na estrutura da vitória-régia, em (c).

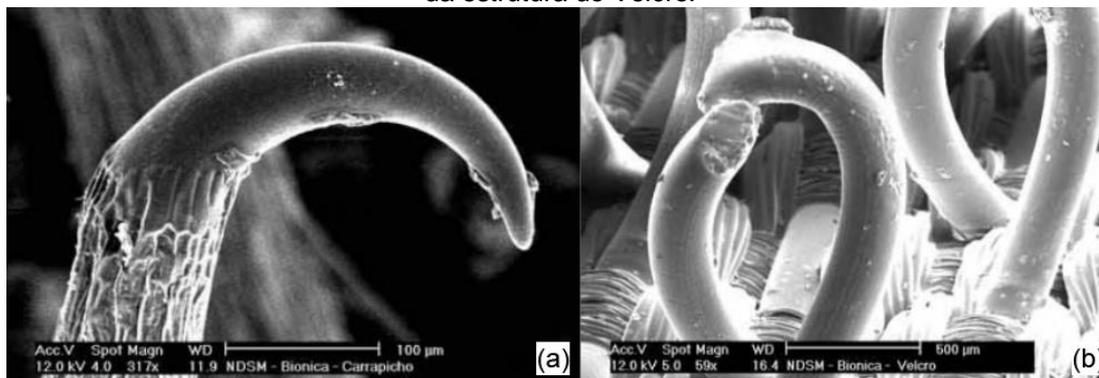


Fonte: adaptado de Vasconcelos (2000).

2.4.2. Velcro

Um dos mais famigerados casos de soluções análogas à natureza é o Velcro, que foi criado na década de 40 e que é utilizado até os dias de hoje. De acordo com Vasconcelos (2000), o Velcro é assim conhecido devido à junção de duas palavras abreviadas derivadas da língua francesa, *velous* e *crochet*, que significam respectivamente veludo e gancho. A criação de Georges Mestral, cientista suíço que desenvolveu o Velcro, é proveniente da observação e do estudo dos frutos de *Acanthospermum sp.*, próprios da família *Asteraceae*, conhecido comumente como Carrapicho. A partir da análise minuciosa desses frutos, verificou-se diversos filamentos (espículas) entrelaçados com terminais na forma de pequenos ganchos que proporcionam o agarre em superfícies que tenham presença de pêlos, fios e tecidos (AMARAL et al., 2002). Esse princípio foi extraído da natureza e aplicado na concepção de um produto com função de fixação (Figura 4).

Figura 4 - Exemplo da biônica aplicada ao velcro. Em (a), o gancho do Carrapicho; em (b), o gancho da estrutura do Velcro.



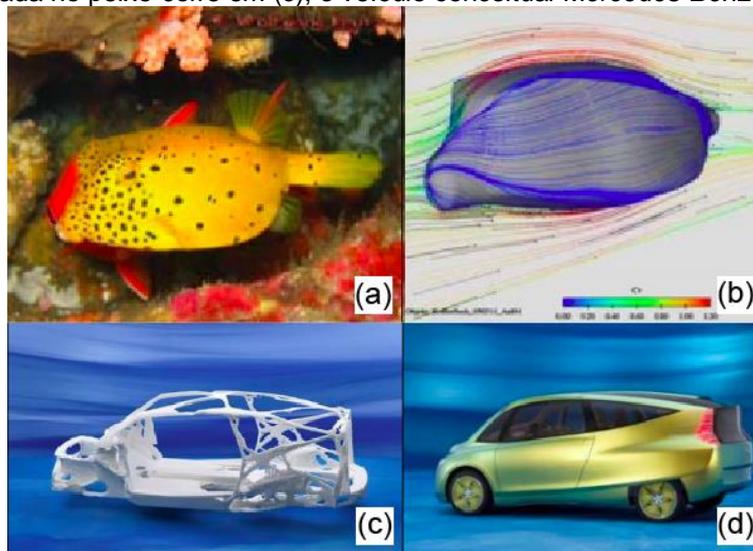
Fonte: adaptado de Amaral et al. (2002).

2.4.3. Mercedes-Benz Bionic

A *DaimlerChrysler* apresentou em 2005 um novo conceito de automóvel, o *Mercedes-Benz Bionic*, inspirado nas características hidrodinâmicas de um peixe conhecido como peixe-cofre (de nome científico *Ostracion meleagris*), encontrado em mares tropicais. Além de seus excelentes princípios hidrodinâmicos, essa espécie possui um esqueleto leve e de resistência mecânica elevada. O monobloco do *Boxfish* foi constituído pelos preceitos do processo de crescimento de ossos e de árvores, que utilizam mais material em áreas que sofrem maiores solicitações e menos material em regiões em que há menos esforços, não desperdiçando energia e matéria-prima (ZARI, 2007).

Segundo Vincent et al. (2006), os efeitos do embasamento biônico no veículo *Boxfish* podem ser observados no melhor desempenho aerodinâmico do automóvel, que acarreta na economia de combustível em aproximadamente 20% e, como consequência, na diminuição de emissões de óxido de nitrogênio em cerca de 80%, em comparação a veículos de mesmo porte e de mesma motorização. A Figura 5 apresenta as características do *Mercedes-Benz Bionic* e o sistema natural que foi utilizado como base.

Figura 5 - Exemplo da biônica aplicada ao *Mercedes-Benz Bionic*. Em (a), o peixe-cofre; em (b), o comportamento hidrodinâmico da estrutura do peixe-cofre; a estrutura do *Mercedes-Benz Bionic* inspirada no peixe-cofre em (c); o veículo conceitual *Mercedes-Benz Bionic*.



Fonte: Zari (2007).

O estudo da biônica, nesse âmbito, se mostrou eficiente no que tange à melhoria tecnológica de um sistema artificial já existente por meio da analogia à estrutura de um modelo biológico.

3. PESQUISA EXPLORATÓRIA

A pesquisa exploratória, voltada para o estudo de sistemas da natureza, consiste em buscar dados oriundos não somente de fonte bibliográficas, como também de atividades práticas como entrevista com especialista em biologia, observações e análises de modelos naturais. O objetivo deste capítulo é aprofundar mais os temas que são a base biônica do projeto para auxiliar posteriormente nas etapas envolvidas no desenvolvimento do produto.

3.1. ENTREVISTA COM ESPECIALISTA DA ÁREA DE BIOLOGIA

A fim de coletar informações e indicações bibliográficas sobre sistemas naturais, foi realizada uma entrevista aberta com um especialista na área de biologia. Esse procedimento de coleta de informação tem fins exploratórios, como obter um maior detalhamento sobre um assunto e consiste na introdução do tema pelo entrevistador de forma que o entrevistado possa discorrer com liberdade sobre a questão (QUARESMA, 2005). A especialidade do entrevistado contribuiu para a posterior seleção de amostras com potencial para solucionar o problema de projeto formulado, uma vez que princípios de estruturas micro ainda podem ser muito explorados.

A entrevista com o profissional da área de biologia, Doutor em Biologia Animal, ocorreu no dia 4 de setembro de 2018. Atualmente, o biólogo atua no Museu de Ciências Naturais (MCN) da Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul, localizado no Jardim Botânico de Porto Alegre, como pesquisador da classe *Insecta* da ordem *Coleoptera*, especialmente da família *Chrysomelidae*, e como curador da coleção de *Coleoptera* e *Lepidoptera*.

Na entrevista, foram destacados alguns dos principais aspectos apontados pelo biólogo relativos a características importantes da ordem *Coleoptera*, que constitui o maior grupo de insetos conhecidos. Segundo ele, este grupo é composto por animais comumente chamados de besouros, contendo aproximadamente quatrocentas mil espécies conhecidas. Ele aponta que a principal característica destes insetos é o élitro, que é um par de rígidas asas modificadas na forma de estojo que protege as asas membranosas e as partes frágeis do abdômen contra impactos e compressões

(Figura 6). O biólogo ressaltou que o élitro é também um elemento essencial para o equilíbrio desses animais durante o voo, contribuindo para fatores aerodinâmicos.

Figura 6 - Élitro de uma espécie predadora de besouro. As flechas vermelhas indicam o par de élitros em posição fechada e aberta e as flechas laranjas indicam as asas membranosas dobradas.



Fonte: a autora (2018).

Esses insetos têm o corpo dividido em três seções: a cabeça, o tórax e o abdômen. Outro traço importante é a presença de três pares de patas (hexápodos), localizadas no tórax, e de um par de antenas, localizadas na cabeça (Figura 7). Uma das espécies mais comuns desta ordem é o besouro rola-bosta, da família *Scarabaeidae*.

Figura 7 - Partes de um besouro. As flechas laranjas indicam os três pares de patas; as flechas vermelhas indicam o par de antenas; o número 1 mostra a cabeça; o número 2 aponta o tórax; o número 3 indica o abdômen.



Fonte: a autora (2018).

Entrando mais especificamente no assunto de propriedades de resistência e de proteção, de acordo com o biólogo, alguns besouros possuem um prolongamento córneo, isto é, estruturas muito resistentes semelhantes a chifres. Os machos da família *Dynastidae*, conhecidos popularmente como "besouros de chifre" ou "besouros rinoceronte", usam essa estrutura para disputar por fêmeas, ou por território, e para

escavar. A estrutura dos élitros também pode ser muito resistente, protegendo os insetos de impactos contra estruturas do ambiente e contribuindo também para a resistência à compressão.

Além disso, os élitros possuem diferentes tipos de texturas, que podem ter funções específicas, como é o caso da espécie *Stenocara gracilipes*, conhecido como "besouro da Namíbia". O especialista apontou na entrevista que esse besouro habita uma das regiões mais áridas do mundo e para poder sobreviver a estas condições, ele coleta o sereno durante a madrugada inclinando sua carcaça constituída de microcanais na superfície parcialmente hidrofóbica e hidrofílica. As gotículas fluem pelos microcanais do dorso até a boca do animal, por um processo de condensação.

Os élitros dos besouros também são providos de características cromáticas interessantes. Eles normalmente são cobertos por escamas grossas, duras, circulares e convexas que, normalmente, estão achatadas e aderidas ao élitro de tal forma que é difícil de se perceber o pedúnculo, ou seja, a haste de sustentação destas escamas. A coloração dos Coleópteros origina-se da cutícula, ou das escamas recobrando-a. A cutícula é um sistema complexo formado por várias camadas de quitina, componente da qual é constituída, sendo um grande responsável pela coloração destes animais.

3.2. ANÁLISE DE ESTRUTURAS NATURAIS

Este subcapítulo apresenta um estudo de diferentes estruturas naturais coletadas, submetidas à metodologia biônica, usada como base para a constituição da maneira de extração dos princípios dos sistemas biológicos observados.

3.2.1. Seleção e coleta das amostras

Nesta etapa, foram selecionadas algumas amostras que contêm princípios identificados como possíveis fontes de geração de soluções para o bom desempenho e para a proteção adequada de EPIs voltados a usuários de bicicleta.

Estas amostras foram coletadas em diferentes fontes, sendo uma delas o Museu de Ciências Naturais da Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul, mais especificamente a Seção de Zoologia de Invertebrados. As quatro amostras selecionadas e coletadas neste local foram cedidas pelo biólogo entrevistado e

consistem em insetos da ordem dos Coleópteros. As espécies selecionadas são apresentadas na Figura 8 e pertencem a quatro diferentes famílias:

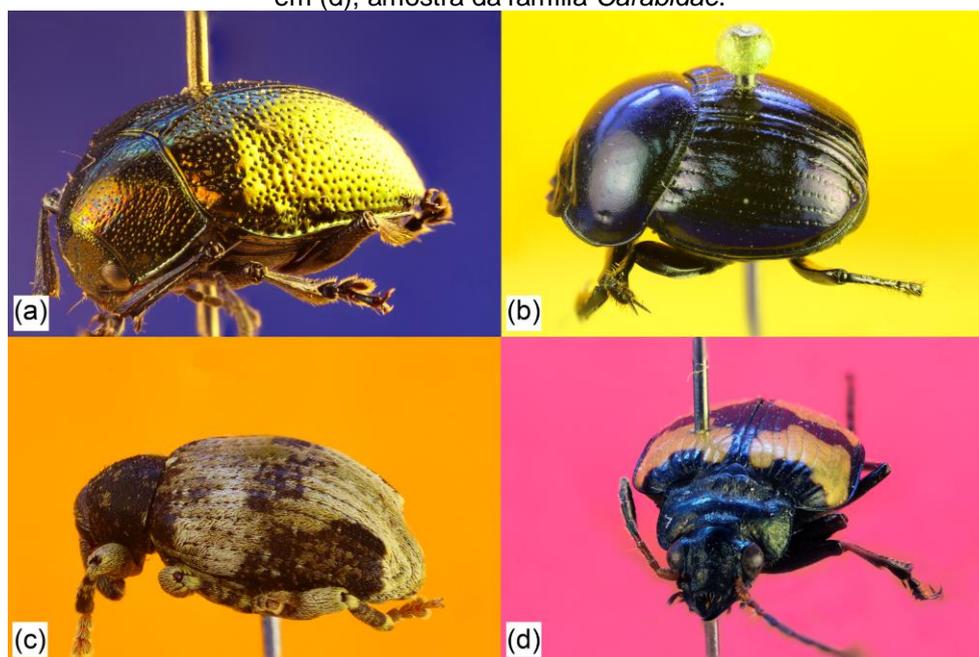
a) *Chrysomelidae*, cujos besouros são fitófagos, ou seja, se alimentam de uma grande variedade de plantas;

b) *Scarabaeidae*, cuja espécie selecionada é popularmente conhecida como "rola-bosta". É um besouro de solo, pois vive e procura seus recursos na terra. Seus recursos alimentares consistem em esterco, sendo considerado um coprófago;

c) *Curculionidae*, com besouros conhecidos como "gorgulhos", são, em sua maioria, fitófagos e terrestres e possuem um focinho e rostró característicos;

d) *Carabidae*, são majoritariamente predadores de outros insetos.

Figura 8 - Fotografias macro dos Coleópteros coletados para o projeto. Em (a), amostra da família *Chrysomelidae*; em (b), amostra da família *Scarabaeidae*; em (c), amostra da família *Curculionidae*; em (d), amostra da família *Carabidae*.



Fonte: a autora (2018).

As amostras em questão foram selecionadas tendo como principal base os princípios de proteção e de resistência do élitro dos besouros. Além disso, foram observados outros aspectos como as texturas destes élitros, que diferem de espécie para espécie. Estas amostras de insetos são conservadas em ambiente com umidade controlada e preservadas com naftalina. Para a posterior análise, indica-se utilizar os insetos secos, sem o auxílio de álcool, especialmente para análise em microscópio eletrônico de varredura.

As outras amostras coletadas foram adquiridas em mercado especializado e em meio natural e consistem em elementos do reino *Plantae*. Elas foram selecionadas seguindo a lógica de princípios utilizados para a escolha dos besouros, que traduz-se na busca por elementos naturais que são providos de uma espécie de carapaça protetora resistente a fatores como impacto, por exemplo. A seguir, constam as demais amostras do reino *Plantae* selecionadas (Figura 9).

a) A casca da noz pecan, fruto da nogueira-pecan (*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch). Os frutos são conhecidos como drupas, crescendo em cachos com até oito unidades. Este tipo de noz possui uma casca rígida de coloração marrom com manchas, podendo ter de 3 a 4 mm de espessura (DUARTE; ORTIZ, 2001).

b) A casca do pistache (*Pistacia vera*). Este fruto é considerado uma drupa seca, pois é um fruto que contém uma única semente, a amêndoa, protegida por uma casca grossa e rígida (KASHANINEJAD et al., 2006).

c) O fruto da árvore *Caesalpinia leiostachya*, conhecida comumente como "pau-ferro". Os frutos amadurecem em junho e em julho e consistem em vagens secas, duras, resistentes e de coloração escura. Estes frutos são indeiscente, ou seja, permanecem fechados após a maturação, protegendo as sementes em seu interior (BIRUEL et al., 2007).

Figura 9 - Macrofotografias das amostras vegetais coletadas para o projeto. Em (a), amostra da casca de noz pecan; em (b), amostra da casca de pistache; em (c), amostra da casca do fruto de "pau-ferro".



Fonte: a autora (2018).

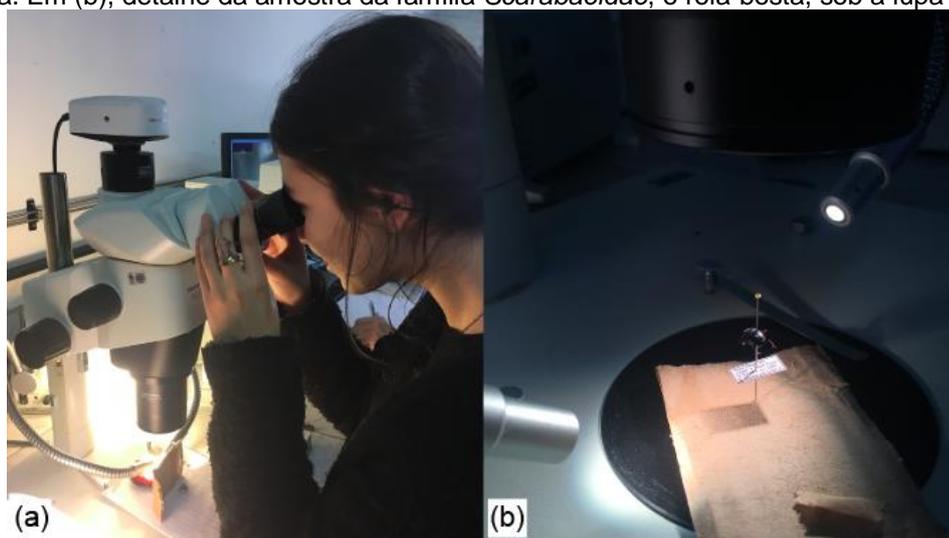
3.2.2. Observação das amostras

Segundo Kindlein Jr. et al. (2002), é pertinente frisar que, nesta parte do protocolo, o modelo natural a ser observado deve ser considerado como um protótipo a ser investigado, utilizando-se da abstração para analisá-lo. Após observação das amostras a olho nu, para detalhamentos gerais, utilizou-se os recursos da lupa e da

macrofotografia. Como as amostras foram preservadas secas, o procedimento realizado para as amostras vegetais consistiu em limpá-las com um pincel para a retirada de resíduos e, para os insetos, resumiu-se a retirar as amostras da caixa em que estavam guardados e presos em isopor por um alfinete com identificação e, por fim, observá-los utilizando os diferentes recursos. Durante as observações, foram feitas anotações e croquis (Apêndice 1) representando elementos importantes.

A lupa consiste em uma ferramenta óptica equipada com lente capaz de produzir imagens digitais ampliadas, facilitando a identificação de aspectos importantes. A lupa óptica utilizada é do laboratório LdSM, localizado na UFRGS, da marca Olympus, modelo SZX16, com uma câmera acoplada para registrar as imagens em computador (Figura 10).

Figura 10 - Observação na lupa óptica. Em (a), observação das amostras selecionadas na lupa óptica. Em (b), detalhe da amostra da família *Scarabaeidae*, o rola-bosta, sob a lupa óptica.



Fonte: a autora (2018).

A fim de complementar o uso da lupa óptica, foi considerado pertinente observar as amostras com o recurso da macrofotografia, uma vez que o foco da lente macro tem melhor potencial de magnificação, permitindo a representação mais nítida e aprofundada dos detalhes. As fotografias foram realizadas nas dependências da UFRGS, com o auxílio do professor orientador Everton Sidnei Amaral da Silva. O equipamento utilizado para o procedimento de macrofotografia foi uma câmera Canon, modelo EOS 5D Mark II, de sensor *full frame* e uma lente macro Canon, modelo MP-E de 65 mm com 5 níveis de magnificação. Para prover suporte ao melhor resultado, utilizaram-se 4 fontes direcionáveis de luz, sendo 2 da lupa óptica e mais 2 lâmpadas

LED de 16 W com película difusora, além de um tripé de fibra de carbono e um trilho biaxial para um preciso ajuste focal (Figura 11). Além disso, utilizou-se papel colorido como fundo para destacar as amostras.

Figura 11 - Processo de macrofotografia. Em (a), a câmera utilizada. Em (b), o tripé de fibra de carbono. Em (c), o trilho biaxial. Em (d), uma amostra sendo fotografada.



Fonte: a autora(2018).

Com as fotografias macro, procurou-se identificar com melhor alcance de foco e nitidez detalhes das amostras. Para tanto, após a captura de diversas imagens do mesmo elemento com mudanças sutis de foco, foram realizados procedimentos de edição de imagem no *software Photoshop*. Este método, chamado *focus stacking*, consiste em combinar a sequência de fotos com diferentes focos de maneira a eliminar ruídos e criar uma única imagem nítida e focada (Figura 12).

Figura 12 - Procedimento de *focus stacking*. Em (a), registro com foco no plano frontal. Em (b), registro com foco no plano posterior. Em (c), combinação dos diferentes planos como resultado do *focus stacking*.

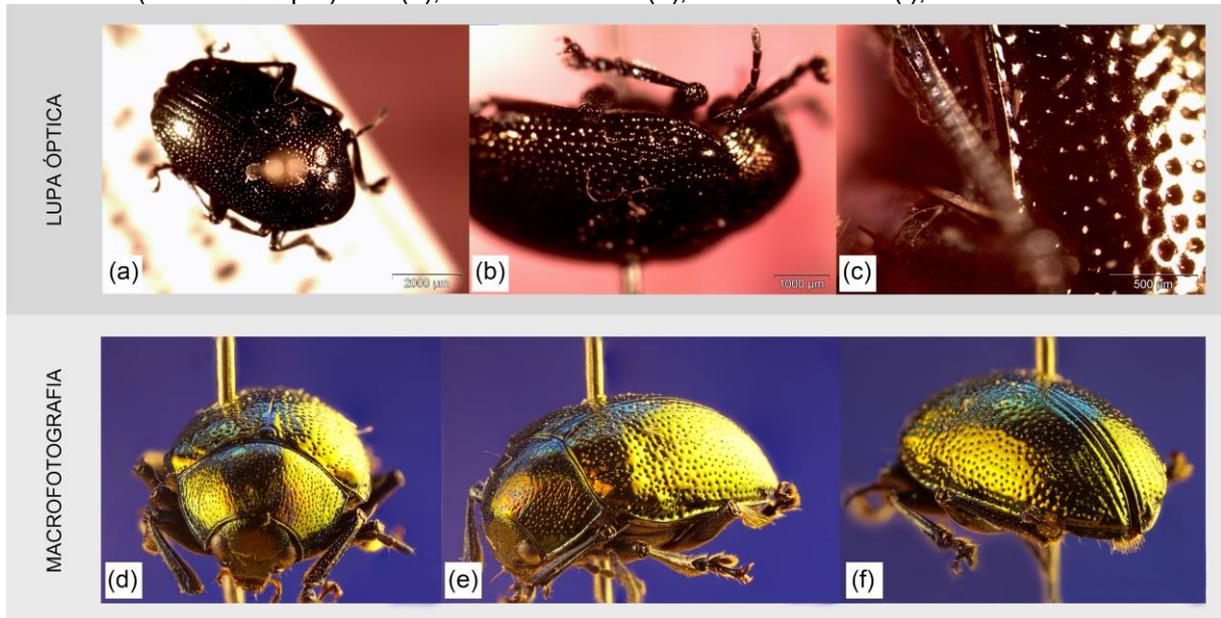


Fonte: a autora (2018).

A primeira amostra analisada consiste no besouro da família *Chrysomelidae*. Observou-se uma textura singular de sulcos esparsos presentes em toda a extensão dos élitros. Essas texturas, muitas vezes, tem a função de direcionar e de canalizar água ou terra, por exemplo. Além disso, tornam a proteção mais resistente devido ao efeito de encruamento do élitro.

Foi possível observar que o casco apresenta características iridescentes, isto é, a coloração exibida pela superfície varia de acordo com a angulação (Figura 13). Segundo Seago et al. (2008), essa cor esverdeada é muito comum entre Coleópteros e uma de suas funções é a camuflagem no ambiente natural, além de ser usada como forma de proteção para desorientar o predador. Esse aspecto pode ser relacionado aos efeitos de segurança que a coloração de um equipamento de proteção pode oferecer.

Figura 13 - Amostra da família *Chrysomelidae* na lupa e na macrofotografia. Em (a), vista de topo (escala: 2000 μm). Em (b), detalhe lateral da amostra (escala: 1000 μm). Em (c), textura do élitro (escala: 500 μm). Em (d), vista frontal. Em (e), vista lateral. Em (f), vista traseira.

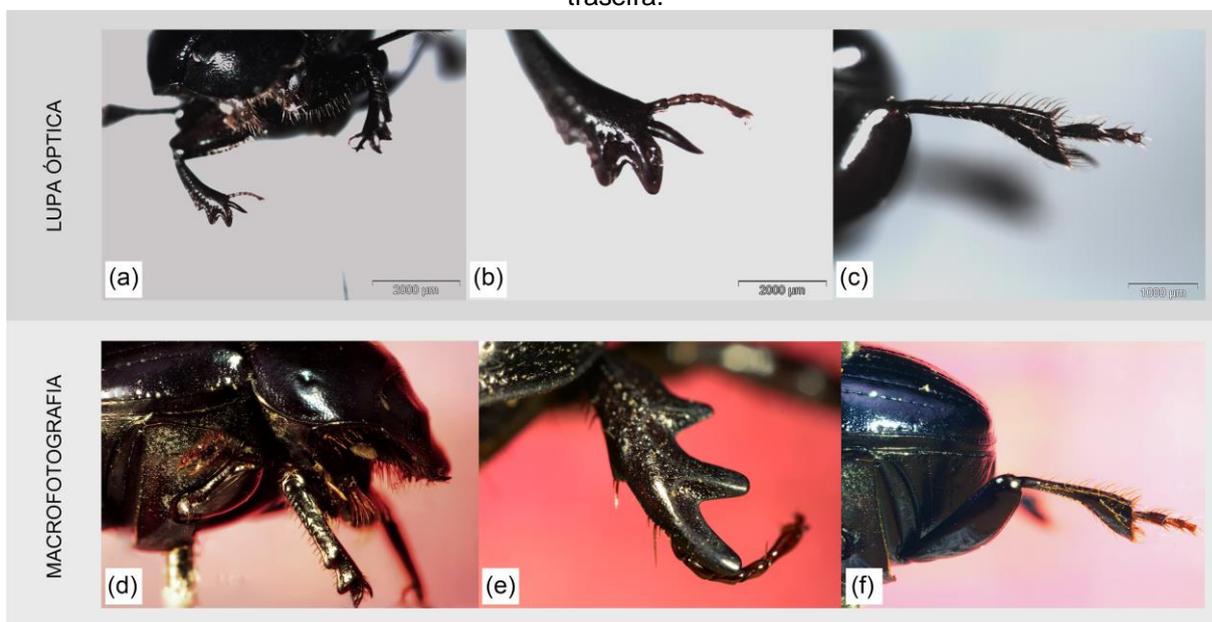


Fonte: a autora (2018).

A segunda amostra analisada é o rola-bosta, da família *Scarabaeidae*. Ele é característico por suas pernas dianteiras fossoriais, modificadas para cavar. Suas pernas também apresentam boas alternativas de fixação, uma vez que o rola-bosta fêmea se fixa no aglomerado de excrementos, enquanto o macho fixa somente as pernas traseiras e empurra o montante com as pernas dianteiras.

Além disso, suas pernas são segmentadas, possuindo vários artículos (Figura 14). Esse sistema de encaixes pode oferecer uma boa solução para a facilitação e a adaptação dos movimentos, uma vez que seu trajeto é feito especialmente em terrenos acidentados.

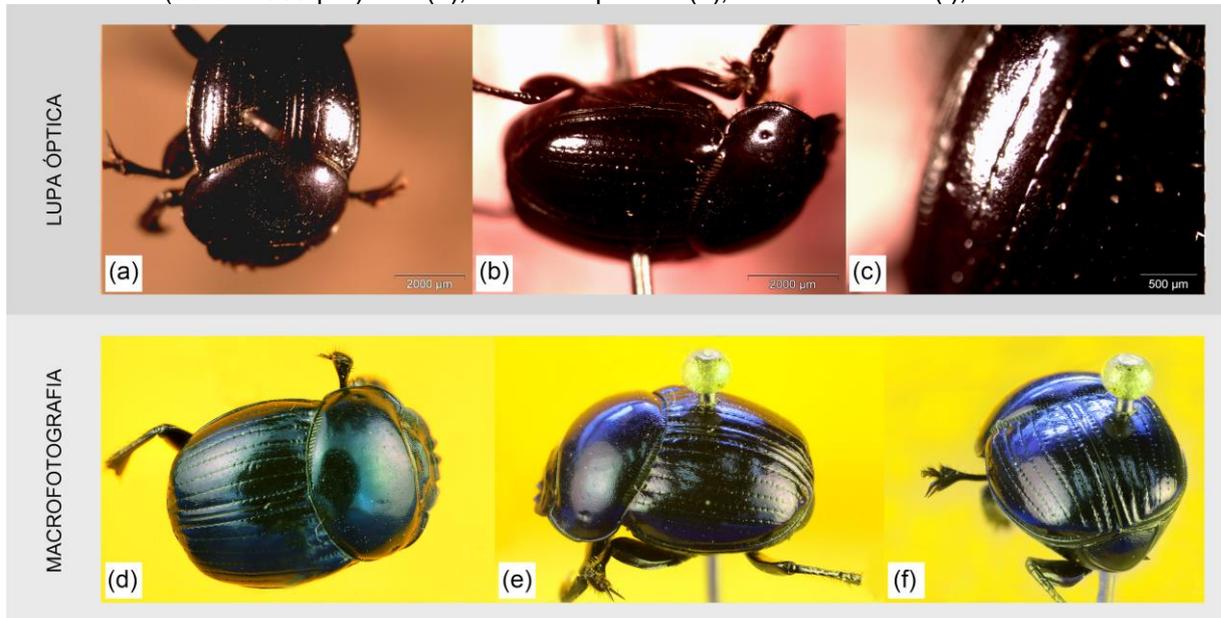
Figura 14 - Pernas da amostra (*Scarabaeidae*) na lupa e na macrofotografia. Em (a), detalhe frontal do rola-bosta (escala: 2000 μm). Em (b), perna dianteira fossorial (escala: 2000 μm). Em (c), perna traseira segmentada (escala: 1000 μm). Em (d), vista frontal. Em (e), vista lateral. Em (f), vista traseira.



Fonte: a autora (2018).

Foi possível observar que essa espécie apresenta um par de élitros convexo, que funciona como uma carapaça de proteção das asas membranosas e de toda a extensão do abdômen da amostra. Sua coloração é iridescente, algo muito comum desta família, com um tom verde-azulado (BERTHIER, 2007). A amostra possui texturas peculiares que formam um padrão de traço-ponto nos élitros (Figura 15). Essa textura pode estar associada às características hidrofóbicas do élitro do rola-bosta, podendo ser uma alternativa de mecanismo eficiente para a canalização da água de um equipamento de proteção individual quando ele estiver sendo usado em condições climáticas intensas.

Figura 15 - Amostra da família *Scarabaeidae* na lupa e na macrofotografia. Em (a), vista de topo do rola-bosta (escala: 2000 μm). Em (b), vista lateral (escala: 2000 μm). Em (c), textura traço-ponto do élitro (escala: 500 μm). Em (d), vista de topo. Em (e), vista lateral. Em (f), vista traseira.



Fonte: a autora (2018).

A terceira amostra observada é um besouro da família *Curculionidae*. Esta amostra apresentou estruturas semelhantes a pelos e a escamas de coloração branca nos élitros e no restante do corpo. Seu par de élitros é convexo e apresenta estrias longitudinais sulcadas na extensão da estrutura. O exoesqueleto desta amostra é bastante esclerosado, isto é, duro, tornando dificultosa até mesmo a ação de transpassar o alfinete (Figura 16).

Sua estrutura se diferencia das demais e se torna interessante por apresentar esses pelos, que podem ser uma inspiração para uma superfície de um equipamento de proteção individual que necessite de atrito como forma de fixação.

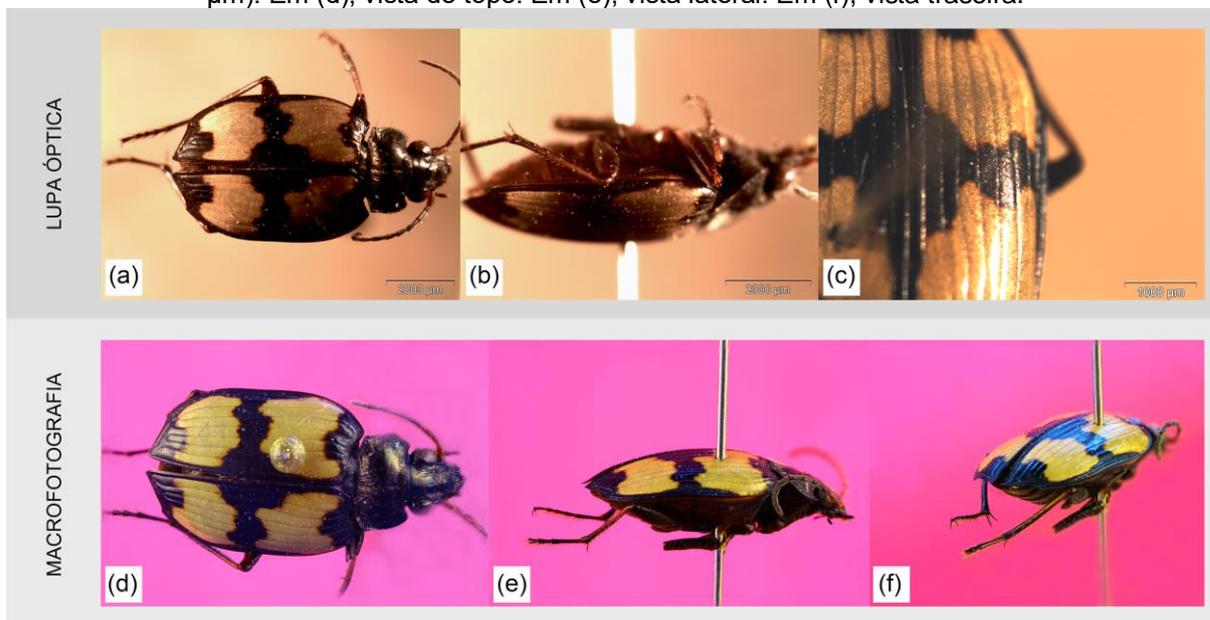
Figura 16 - Amostra da família *Curculionidae* na lupa e na macrofotografia. Em (a), detalhe do abdômen (escala: 500 μm). Em (b), vista de topo (escala: 1000 μm). Em (c), textura das estruturas de pelos e escamas do élitro (escala: 500 μm). Em (c), vista de topo. Em (d), vista lateral. Em (e), vista traseira.



Fonte: a autora (2018).

A última amostra de inseto observada na lupa consiste em um besouro da família *Carabidae*. Este besouro também possui um padrão com colorações amareladas e castanho-escuras. Observou-se, também, que este besouro possui estrias longitudinais sulcadas em seus élitros, bem como uma forma mais achatada e longilínea desta estrutura, diferente das amostras das famílias *Chrysomelidae* e *Scarabaeidae*. Além disso, suas pernas são alongadas e finas e seus olhos são grandes, uma vez que esta espécie é predadora e necessita de agilidade e de boa visão para caçar (Figura 17). Estas características morfológicas das pernas finas e da carapaça achatada são importantes de serem consideradas em termos de aerodinâmica, uma vez que são fatores importantes na agilidade e no bom desempenho desses besouros, podendo contribuir para a geração de soluções de EPIs que não limitem as atividades com a bicicleta.

Figura 17 - Amostra da família *Carabidae* na lupa e na macrofotografia. Em (a), vista de topo (escala: 2000 μm). Em (b), vista lateral (escala: 2000 μm). Em (c), detalhe da textura do élitro (escala: 1000 μm). Em (d), vista de topo. Em (e), vista lateral. Em (f), vista traseira.



Fonte: a autora (2018).

Quanto às amostras do reino *Plantae*, a primeira a ser observada foi a casca da noz pecan. Para essa análise, foi observada a superfície interna da casca, com e sem a película que encobre as paredes internas. A estrutura observada é irregular e se assemelha a cristais aglomerados (Figura 18).

A parte interna da casca, representada na Figura 18 (b) como a área mais clara da secção, aparenta ser mais macia ao toque do que a externa, lembrando o funcionamento de sistemas de proteção que utilizam uma carcaça de um material mais rígido na parte externa e uma estrutura amortecedora no interior.

Figura 18 - Amostra da casca de noz pecan na lupa e na macrofotografia. Em (a), vista de topo da casca sem a pele (escala: 2000 μm). Em (b), a parede interna da casca com a pele (escala: 2000 μm). Em (c), detalhe da estrutura interna irregular (escala: 1000 μm). Em (d), vista de topo da parte externa. Em (e), vista de topo da parte interna com a noz. Em (f), detalhe da parte interna.

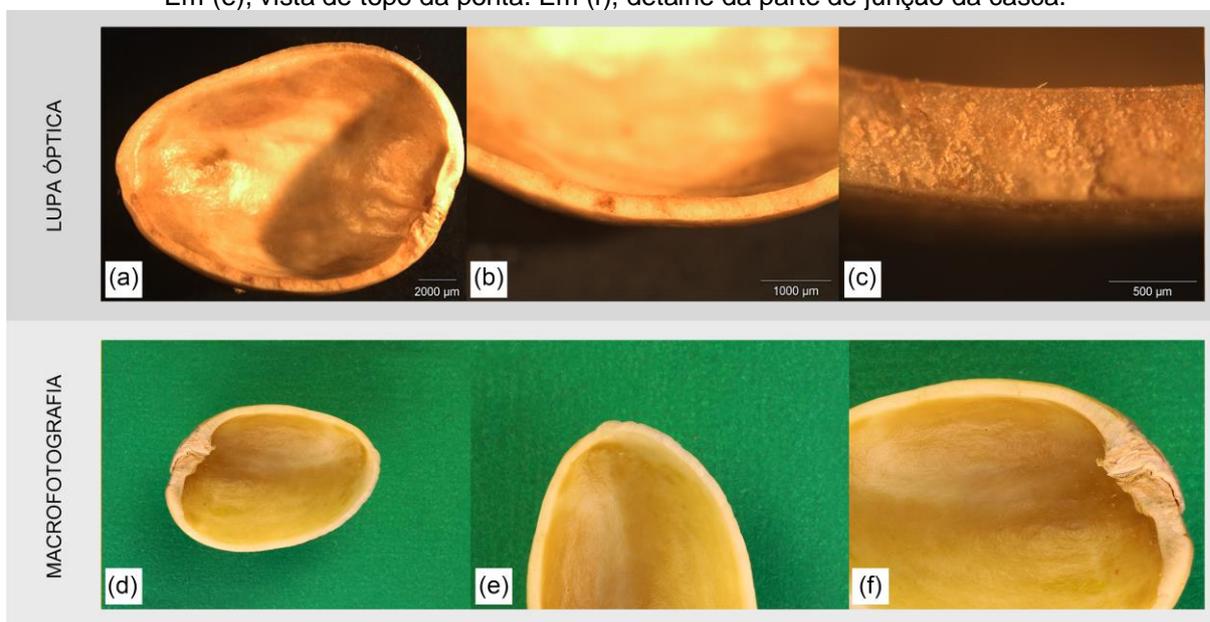


Fonte: a autora (2018).

A casca de pistache é mais clara e com menor rugosidade comparada à casca de noz pecan. Além disso, sua estrutura é convexa e se assemelha aos élitros mais curvos dos besouros. Sua estrutura no corte longitudinal aparenta ser mais homogênea do que a amostra de noz, como pode ser visto na Figura 19.

Além disso, a superfície da amostra apresenta um brilho encerado tanto na parte interna, quanto na parte externa, o que pode indicar uma propensão à hidrofobia, uma característica importante quando se trata de algum sistema de proteção que precisa ser usado também durante a chuva sem comprometer o desempenho do ciclista, por exemplo.

Figura 19 - Amostra da casca de pistache na lupa e na macrofotografia. Em (a), vista de topo do interior (escala: 2000 μm). Em (b), detalhe do corte longitudinal da casca (escala: 1000 μm). Em (c), aproximação do corte longitudinal da casca (escala: 500 μm). Em (d), vista de topo da parte interna. Em (e), vista de topo da ponta. Em (f), detalhe da parte de junção da casca.

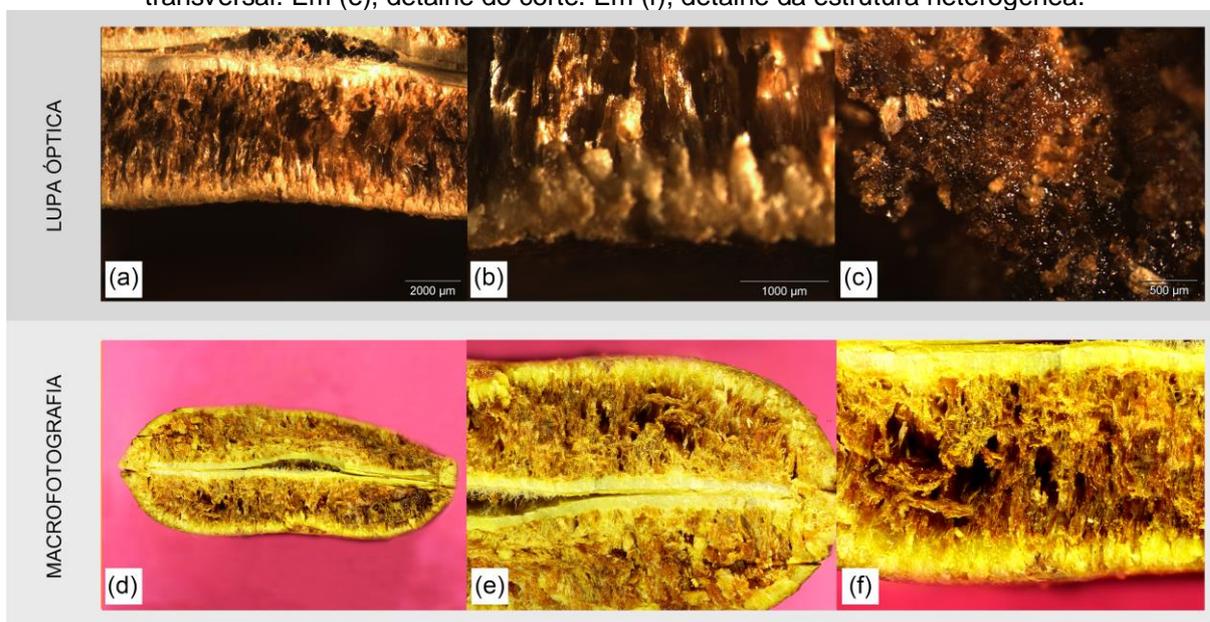


Fonte: a autora (2018).

O fruto da árvore pau-ferro apresenta casca rígida, o que foi percebido no procedimento de seccionar a amostra. O fruto sofreu um corte transversal, como mostra a Figura 20, em (a), e um corte longitudinal, mostrado em (c). A estrutura fibrosa apresentada na secção transversal apresenta uma forma alongada, mostrada em (b). A parte mais clara do corte assemelha-se a um poliestireno expandido, enquanto a parte mais escura no corte longitudinal assemelha-se a cristais aglomerados, como apresentado em (c).

Como se trata de um fruto indeiscente, que não abre em sua maturação, esta amostra deve resistir à queda e ao impacto com o solo sem danificar a casca e sem comprometer as sementes que ficam em seu interior. Essa característica de proteção é importante de ser estudada para o projeto, uma vez que sua estrutura heterogênea semelhante ao poliestireno expandido pode contribuir em termos de materiais e de estrutura para o desenvolvimento do EPI.

Figura 20 - Amostra do fruto (casca) de pau-ferro na lupa e na macrofotografia. Em (a), secção transversal da casca (escala: 2000 μm). Em (b), detalhe das fibras do corte transversal (escala: 1000 μm). Em (c), aproximação do corte longitudinal (escala: 500 μm). Em (d), vista de topo do corte transversal. Em (e), detalhe do corte. Em (f), detalhe da estrutura heterogênea.



Fonte: a autora (2018).

3.2.3. Análise no Microscópio Eletrônico de Varredura – MEV

De acordo com Kindlein Jr. et al. (2002), o Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) é um recurso utilizado para a obtenção de informações estruturais das amostras a nível micro. Este equipamento funciona de forma a emitir um feixe de elétrons guiado por lentes eletromagnéticas, que atuam como condensadoras. Desta forma, o feixe incide sobre a amostra, realizando uma varredura sobre uma área delimitada do objeto. Para a geração das imagens, são utilizados elétrons captados por um detector, fazendo com que cada ponto da amostra seja equivalente a um ponto da tela. Esta ferramenta permite que sejam feitas ampliações com ótima profundidade de foco, apresentando detalhes não visíveis em microscópio óptico.

O Microscópio Eletrônico de Varredura, da marca Hitachi, modelo TM3000, foi utilizado com o auxílio de uma doutoranda e pertence ao LdSM, localizado nas dependências da UFRGS. As imagens obtidas foram processadas com o auxílio de um computador da marca HP (Figura 21).

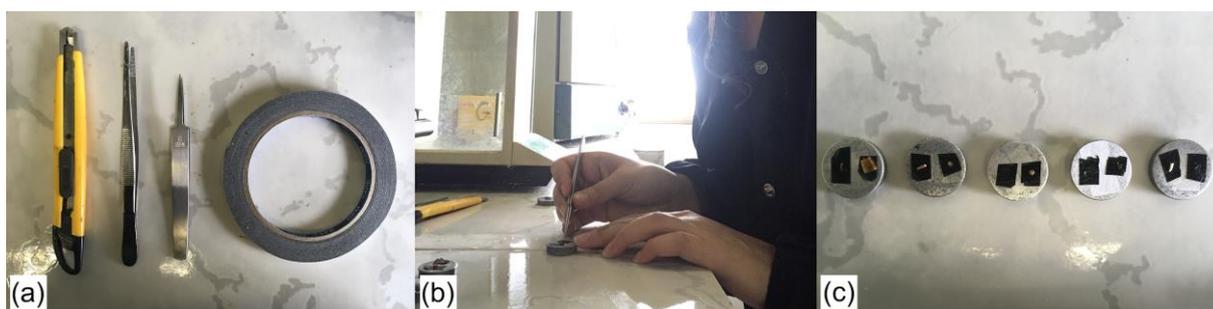
Figura 21 - Equipamentos usados para análise em MEV. Em (a), MEV utilizado para a análise da microestrutura das amostras. Em (b), computador utilizado com o MEV.



Fonte: a autora (2018).

Os procedimentos envolvidos nesta análise consistiram na preparação das amostras, de forma a seccionar com estilete as partes de interesse, no caso, foram pequenas partes das amostras citadas anteriormente, como os élitros das quatro espécies de besouro, bem como as cascas dos frutos. Após isto, foram preparados os *stubs*, que são bases de metal onde são posicionadas, com auxílio de pinças, as partes a serem analisadas, fixadas por fita adesiva (Figura 22).

Figura 22 - Procedimentos e materiais para análise no MEV. Em (a), os materiais utilizados para preparar as amostras. Em (b), a preparação dos *stubs*. Em (c), os *stubs* prontos.



Fonte: a autora (2018).

As amostras de insetos que apresentaram melhores resultados na análise do MEV foram as amostras dos élitros dos besouros das famílias *Scarabaeidae*, *Curculionidae* e *Carabidae*.

A amostra do élitro do besouro rola-bosta, da família *Scarabaeidae*, foi analisada em sua espessura, apresentando uma camada externa mais homogênea. Na camada mais interna, foram observados arranjos cavernosos parecidos com favos, com cavidades retangulares ordenadas lado a lado (Figura 23).

Essa estrutura de favo, ou alveolar, é encontrada em modelos industriais como papelões resistentes e compensados inspirados nas formas da colméia, por exemplo. Este tipo de configuração pode ser vantajosa para uma estrutura que necessite de resistência com peso reduzido, como é o caso de equipamentos de proteção individual.

Figura 23 - Análise no MEV do élitro do besouro da família *Scarabaeidae*. Em (a), corte transversal do élitro com a seta apontando o local das ampliações (escala: 1 mm). Em (b), detalhe com x1.0k de amplificação (escala: 100 μ m). Em (c), detalhe com x2.0k de amplificação (escala: 30 μ m), com as setas laranjas apontando a estrutura cavernosa alveolar.

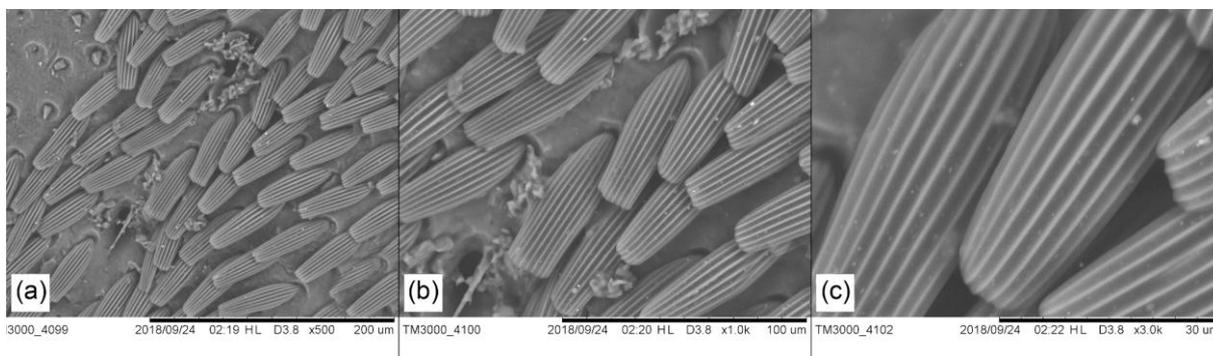


Fonte: a autora (2018).

A Figura 24 mostra a estrutura externa da asa do besouro da família *Curculionidae*, salientando suas escamas piliformes. Estes pelos são constituídos de estrias longitudinais e são encaixados em sulcos nos élitros. Este tipo de encaixe por interferência representa uma potencial solução para sistemas de fechamento e de ajuste em dispositivos de segurança.

Pode-se perceber que os pelos seguem um mesmo sentido de orientação e a estrutura de cada pelo é dada por veios longitudinais. Esses dois aspectos fazem com que muitas partículas sejam retidas no corpo do besouro, como um sistema de fixação e aderência, que podem vir a contribuir para a estabilidade do EPI quando em contato com o ciclista.

Figura 24 - Análise no MEV do élitro do besouro da família *Curculionidae*. Em (a), a estrutura da parte externa do élitro (escala: 200 μm). Em (b), detalhe com x1.0k de magnificação (escala: 100 μm). Em (c), detalhe com x3.0k de magnificação (escala: 30 μm).



Fonte: a autora (2018).

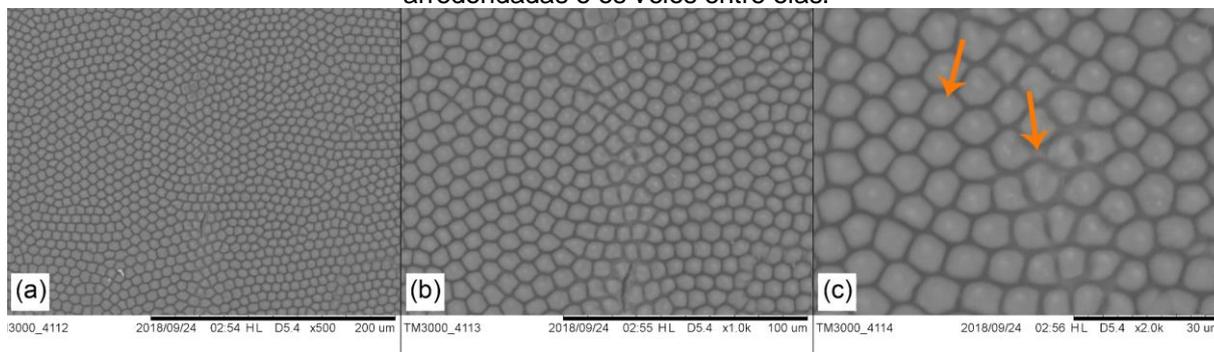
O élitro do besouro da família *Carabidae* foi posicionado de tal forma que a parte interna da estrutura fosse analisada, apresentando um arranjo constituído por formas arredondadas espaçadas por veios.

A análise da superfície interna permitiu que se observasse um padrão relativamente organizado, que lembra, assim como a amostra do rola-bosta, uma estrutura alveolar vista por outro ângulo. Da mesma forma, essa disposição pode ser usada quando se trata de garantir uma boa resistência com o mínimo de peso possível, otimizando características de desempenho como a aerodinâmica do ciclista, por exemplo.

Assim como as outras amostras de besouros anteriormente expostas, pode-se perceber que existe uma padronização recorrente nestas estruturas, constituindo formas e arranjos mais geométricos.

A Figura 25 apresenta esta estrutura com três magnificações, isto é, ampliações, diferentes, onde é possível perceber as formas de alvéolo citadas anteriormente.

Figura 25 - Análise no MEV do élitro do besouro da família *Carabidae*. Em (a), a estrutura interna do élitro (escala: 200 μm). Em (b), detalhe com x1.0k de magnificação (escala: 100 μm). Em (c), detalhe com x2.0k de magnificação (escala: 30 μm), com as setas laranjas apontando as estruturas arredondadas e os veios entre elas.

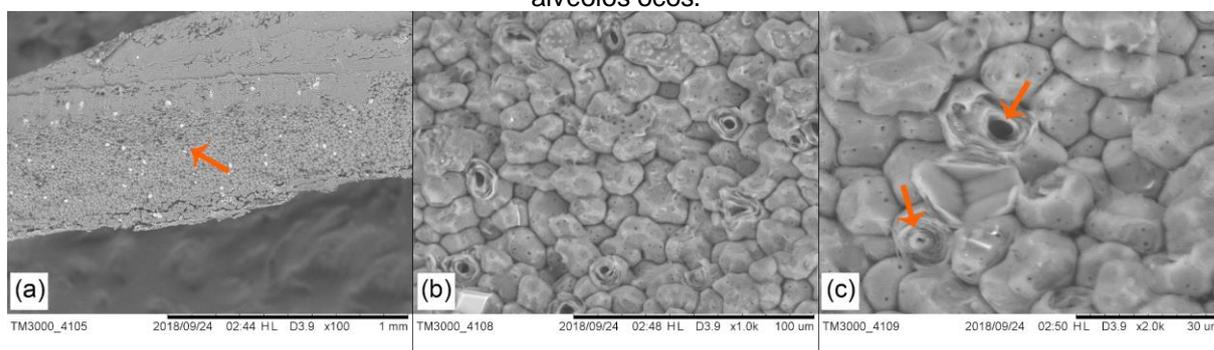


Fonte: a autora (2018).

Duas das amostras vegetais apresentaram características interessantes: a da casca da noz pecan e a da casca de pistache. A amostra da casca da noz pecan foi observada em sua espessura e seu corte mostrou uma distribuição de alvéolos aglomerados, sendo que alguns deles foram seccionados, revelando um interior aparentemente oco com uma parede de várias camadas unidas. Neste caso, a questão da redução de peso também é percebida nesta estrutura, que é uma característica importante para o projeto (Figura 26).

Esta amostra se assemelha à amostra da família *Carabidae*, porém, com uma forma mais orgânica e irregular, com alvéolos de dimensões muito distintas entre si.

Figura 26 - Análise no MEV da casca de noz. Em (a), corte transversal da casca com a seta indicando o local da magnificação (escala: 1 mm). Em (b), detalhe com x1.0k de magnificação (escala: 100 μm). Em (c), detalhe com x2.0k de magnificação (escala: 30 μm), com as setas laranjas apontando os alvéolos ocos.



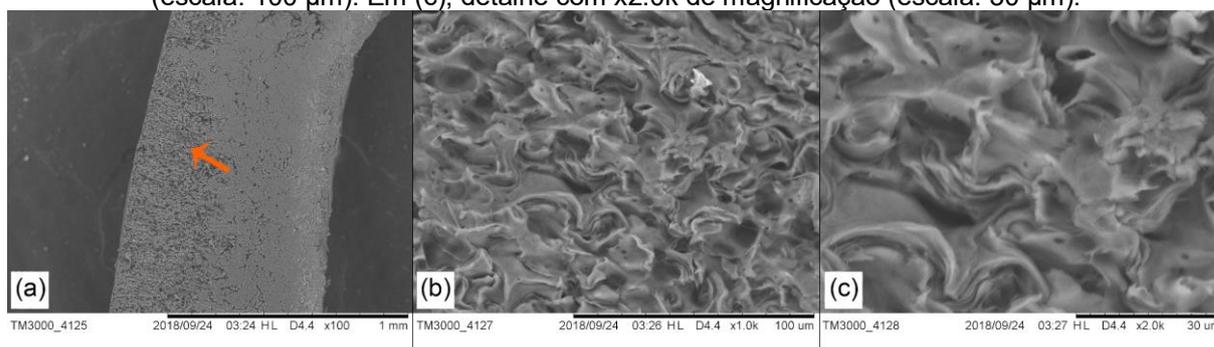
Fonte: a autora (2018).

A amostra de casca de pistache revelou uma forma orgânica em sua espessura, apresentando uma estrutura irregular e mais fibrosa e sua superfície externa é homogênea e sem rugosidades aparentes (Figura 27). Essa forma se

mostrou mais dispersa e irregular, sem muitos espaços ou veios entre as estruturas onduladas.

As ondulações formadas podem contribuir para o projeto de maneira a balizar a criação de um padrão de microondulado, que é a base de resistência de materiais como papelão microondulado.

Figura 27 - Análise no MEV da casca de pistache. Em (a), corte transversal da casca com a seta indicando o local da magnificação (escala: 1 mm). Em (b), detalhe com x1.0k de magnificação (escala: 100 μ m). Em (c), detalhe com x2.0k de magnificação (escala: 30 μ m).



Fonte: a autora (2018).

3.3. CONSIDERAÇÕES DA ANÁLISE DE ESTRUTURAS NATURAIS

A partir das análises dos sistemas biológicos realizadas, foi possível identificar previamente alguns mecanismos, estruturas e formas que poderão respaldar o desenvolvimento do produto. Estes princípios assimilados foram compilados no Quadro 1, de maneira a sintetizar as informações coletadas para serem posteriormente utilizadas como base para a geração de alternativas.

Quadro 1 - Sintetização dos princípios dos elementos naturais.

Fonte: a autora (2018).

4. PROJETO INFORMACIONAL

Nesta etapa, é realizada a coleta e análise de dados referentes aos usuários e aos produtos similares existentes no mercado. A avaliação crítica sobre estes aspectos nos permite identificar as principais necessidades e os requisitos do usuário, bem como vantagens ou desvantagens de sistemas, dispositivos ou características materiais e imateriais identificadas em produtos concorrentes. Por consequência, a compilação destas informações contribui na definição de requisitos de projeto que permitem direcionar o desenvolvimento do produto.

Para tanto, são aplicados recursos como entrevistas, questionários e diagramas, auxiliando na assimilação de possíveis especificações de projeto.

4.1. IDENTIFICAÇÃO DO USUÁRIO

Segundo Back et al. (2013), o usuário consiste em pessoas, órgãos ou instituições que exprimem interesse e que possuem direito de opinar, de impor exigências ou de demonstrar as necessidades que podem influenciar, de alguma maneira, os aspectos e os atributos do produto a ser desenvolvido.

Dessa maneira, este projeto considera como usuário todas as pessoas que fazem uso da bicicleta como meio de transporte, como forma de lazer ou para a prática de esportes, compreendendo todas as classes sociais e as identidades de gênero. Além disso, o trabalho em questão procura compreender os fatores estruturais, funcionais, morfológicos e de uso que influenciam as escolhas dos usuários quanto aos EPIs, a fim de trabalhar estes pontos no produto a ser desenvolvido.

4.1.1. Entrevista com o usuário

Como parte do processo de compreensão do cenário e da relação dos usuários de bicicleta com o uso de EPIs, foi realizada uma entrevista semi-estruturada. Esse formato contempla uma formulação flexível das questões, cujo andamento depende da dinâmica natural entre entrevistador e entrevistado, suscitando a forma de pensar da pessoa em relação ao tema (DUARTE, 2004). Neste caso, foi necessário compor um roteiro com alguns tópicos advindos do problema de pesquisa e tópicos conceituais, bem como de dados reais sobre o estudo.

A entrevista foi realizada com um participante, de 30 anos de idade, que faz uso regular da bicicleta. Na parte inicial da entrevista, o entrevistado afirma utilizar a bicicleta para diferentes atividades, sendo o deslocamento a mais recorrente, seguida pela prática de esporte. Como se trata de locomoção, seu uso é feito todos os dias da semana, em trajetos de até 30 minutos. Nesta etapa, o entrevistado desdobrou a temática e afirmou que as vias públicas para ciclistas em Porto Alegre são uma grande questão para o seu deslocamento. Aproveitando este encaminhamento, o ciclista foi questionado sobre quais são estes aspectos que envolvem o deslocamento em vias públicas que o inquietam, ao que ele respondeu ser, especialmente, fatores de segurança, uma vez que as ciclovias são escassas, estreitas e com buracos, facilitando a ocorrência de acidentes.

Sobre acidentes, em especial, o entrevistado afirmou já ter sofrido traumas nos braços e, principalmente, nas pernas causados pela queda, pelo impacto e pela abrasão com o chão, acrescentando que a causa dos acidentes que já sofreu foram os buracos nas vias. No desenrolar deste tópico, o usuário foi indagado quanto ao uso de EPIs e o que ele pensava sobre isto, tendo em vista que existem movimentos de ciclistas que são contra o uso destes equipamentos por considerarem não efetivos em acidentes envolvendo veículos de grande porte, por exemplo, concebendo-os como um paliativo para remediar questões maiores que deveriam estar sendo abordadas, como a melhoria na infraestrutura para ciclistas. O entrevistado respondeu que sempre faz uso de capacete em seus trajetos e que muitos acidentes que poderiam ter causado traumas na cabeça foram prevenidos, mesmo que nunca tenha sofrido algum acidente envolvendo veículos grandes. Ele acrescentou que “mesmo existindo a carência de melhoria nas ciclovias, cuidar da própria vida depende de cada um também”.

A entrevista seguiu voltando à temática de acidentes em trajetos de bicicleta, em que foi perguntado qual foi o último trauma sofrido pelo ciclista. Ele respondeu ter sofrido recentemente uma queda, lesionando o lado esquerdo do corpo na extensão do joelho ao quadril, gerando hematomas e arranhões. Nesse sentido, foi questionado se ele já pensou em utilizar EPIs para a região das pernas e dos braços, que, segundo ele, são os locais em que já sofreu traumas, como este último. O entrevistado respondeu que nunca pensou em usar por considerar esteticamente desagradável e por acreditar que as joelheiras e cotoveleiras disponíveis limitam os movimentos. Em adição a isto, o ciclista refletiu e falou que imagina que se estivesse utilizando algo

acolchoado por dentro da roupa que usava quando sofreu o último acidente na região da perna, a sua queda talvez tivesse sido amortecida.

Por fim, seguindo a questão dos aspectos dos EPIs, perguntou-se o que ele achava dos equipamentos de proteção disponíveis para ciclistas, não somente sob o aspecto estética, mas também sob o aspecto funcional relativo ao uso, como peso, volume, conforto, etc. Questionou-se ainda da possível existência de outras características a serem contempladas nestes dispositivos de modo a motivar seu uso. O entrevistado respondeu que acha a qualidade dos capacetes em geral muito boa, com um encaixe confortável na cabeça. Ele apenas salientou que o fechamento abaixo do queixo poderia ser mais adequado, pois acaba causando desconfortos. Quanto a joelheiras e cotoveleiras, ele afirmou que “devem existir melhorias radicais, visto que são, hoje, muito defasadas e se preocupam apenas com uma pequena parte das pernas e dos braços, são muito rígidas e esteticamente feias”. Além disso, salientou que os preços destas proteções complementares poderiam ser mais acessíveis, uma vez que o ciclista deve arcar com diversas despesas de vários equipamentos de uso obrigatório para a bicicleta além dos EPIs.

4.1.2. Questionário

A fim de se conhecer de maneira mais aprofundada o contexto em que se inserem os ciclistas, utilizou-se a entrevista com o usuário como um entendimento preliminar para a formulação de um questionário por meio de questões ideais, que são, em sua maioria, objetivas (Apêndice 2). Dessa forma, é possível traçar um caminho para identificar suas necessidades, carências e desejos relacionados ao uso de EPIs para ciclistas.

Primeiramente, foi apresentado um breve resumo do conceito do projeto. A primeira seção do questionário consiste na coleta de informações básicas como idade e identidade de gênero. Após isto, os participantes responderam questões relativas à relação deles com o uso da bicicleta, a locais do corpo que já sofreram lesões em decorrência de acidentes e ao uso de EPIs durante seus trajetos de bicicleta. Ao fim, indicaram o grau de satisfação atribuído a cada um dos fatores relacionados aos dispositivos de proteção individual disponíveis para ciclistas.

O questionário teve um total de 200 respostas de diversos participantes usuários de bicicleta, com idades entre 16 e 64 anos. A maior parte deles, que

corresponde a 38%, respondeu utilizar a bicicleta de 3 a 4 vezes por semana, sendo que 39,5% dos participantes a utiliza para a prática de esportes.

Quanto à questão sobre os locais em que já sofreram traumas, a maior parte dos participantes respondeu serem as pernas, com um recorrência de 106 respostas, seguido de braços, com 81 respostas. As lesões na cabeça corresponderam a 44 recorrências. Este dado é complementado pela pergunta seguinte, que pede para selecionar as alternativas que se aplicam quanto aos EPIs que utilizam em seus trajetos de bicicleta. A maior parte dos participantes respondeu ser o capacete, com 171 recorrências. Para joelheiras, houve 9 recorrências e 26 recorrências para pessoas que não utilizam nenhum tipo de EPI. Isso pode ser um indício de que os ciclistas não utilizam proteção para as pernas, ou que os EPIs utilizados para esta região não são efetivos. Ambas as possibilidades são importantes para a pesquisa, uma vez que o não uso pode estar fortemente relacionado a aspectos dos produtos existentes, como a não efetividade, por exemplo. Dessa forma, há necessidade de atenção para equipamentos de proteção para as pernas, principalmente. Percebeu-se, assim, a oportunidade de desenvolvimento de um aparato de proteção para as pernas de maneira a complementar a proteção para os usuários de bicicleta.

Por fim, os participantes classificaram com grau de satisfatoriedade os EPIs para ciclistas disponíveis no mercado, como capacetes, joelheiras e cotoveleiras, de acordo com atributos apresentados, sendo 1 equivalente a "nada satisfatório", 2 a "pouco satisfatório", 3 a "regular", 4 a "satisfatório" e 5 a "muito satisfatório". O Quadro 2 a seguir mostra as informações retiradas desta questão, apresentando as médias das avaliações de grau de satisfatoriedade atribuídas pelos participantes para cada fator.

Quadro 2 - Informações extraídas da questão de grau de satisfatoriedade.

Fatores	Média de avaliação
Peso	3,6
Uso	3,5
Impacto	3,5
Movimentos	3,5
Conforto	3,2
Intempéries	3,0
Estética	3,0
Volume	2,7
Preço	2,6

Fonte: a autora (2018).

Dessa forma, é possível perceber também que existem pontos dos EPIs comercializados hoje que devem receber atenção especial no novo sistema de proteção individual a ser desenvolvido neste projeto, como a questão estética, o volume ocupado pelo EPI quando não está em uso e o preço. Os demais itens são de extrema importância por configurarem fatores essenciais dos EPIs, como facilidade de uso, resistência a impacto, conforto e liberdade de movimentos, por exemplo, especialmente quando se trata do desenvolvimento de um aparato com tanta carência de melhorias.

4.1.3. Necessidades do usuário

A partir da entrevista, do questionário com usuários e dos demais dados coletados relativos ao uso de EPIs entre ciclistas, é possível perceber que os aparatos de proteção individual para usuários de bicicleta são comumente voltados para a proteção da cabeça, bem como os dados de pesquisas sobre o assunto. Os participantes, no entanto, apontam que as pernas são as áreas do corpo mais afetadas em acidentes, o que ocorre seja pelo não uso de EPIs específicos disponíveis no mercado, seja pela não efetividade deles na proteção das pernas. A partir destes dados, percebe-se a existência de carências quanto à proteção individual de ciclistas, ocasionando baixo grau de satisfação destes com os produtos existentes, principalmente sobre as características estéticas, dimensionais, de conforto e de preço, bem como uma baixa adesão de equipamentos para complementar a proteção.

De maneira ampla, a necessidade do usuário é efetuar seus trajetos de bicicleta de maneira segura, de forma que o uso de EPIs seja uma opção efetiva e que cumpra com as expectativas formais e funcionais dos ciclistas quanto ao produto. As necessidades de usuários, dentro deste cenário geral, são mostradas com maiores detalhes no Quadro 3.

Quadro 3 - Necessidades dos usuários.

Necessidade	Descrição
Ter visual agradável	Um dos fatores de adesão dos EPIs é uma aparência agradável, pois desperta o desejo e é um aspecto de valorização simbólica do produto.
Conseguir armazenar com facilidade	Trata-se da facilidade de armazenagem do EPI, envolvendo questões como o volume ocupado por esses aparatos. Este é um fator importante, visto que seu grande volume interfere na adesão do seu uso.
Ter despesas reduzidas	O usuário apontou que existem diversas despesas com acessórios obrigatórios para a bicicleta, sendo necessário controlar as demais despesas relacionadas ao uso de bicicleta, prezando por EPIs mais baratos.
Proteger efetivamente as pernas	Os usuários salientaram serem as pernas os pontos com maior ocorrência de lesão, uma vez que a cabeça já é contemplada pela proteção de capacetes de todos os tipos. Além disso os EPIs disponíveis para pernas são obsoletos e protegem pequenas partes da perna.
Conseguir desempenhar bem as atividades	Trata-se da necessidade de se ter um bom desempenho nos trajetos de bicicleta. Isso incluiu boa performance em condições climáticas intensas, como chuva, ventos fortes e calor excessivo, bem como a liberdade de movimentos e a preservação das características aerodinâmicas e de segurança nestas condições.
Realizar os trajetos com conforto	É necessário que haja conforto, especialmente térmico, ao se usar um EPI em trajetos de bicicleta. Dessa forma, é importante que o EPI atenda às especificações ergonômicas, contribuindo para reforçar a adesão a estes aparatos de segurança.

Fonte: a autora (2018).

A partir da descrição das necessidades dos usuários, percebe-se a relevância de cada uma delas, bem como a importância de se atender a todas elas visando ao bom desempenho do produto final.

4.1.4. Priorização das necessidades do usuário

O Diagrama de Mudge é uma ferramenta que possibilita a comparação e priorização de diferentes atributos, elencando-os por relevância. Para criar o diagrama, deve-se enumerar os aspectos a serem contemplados e, após isso, é preciso atribuir valores para as comparações (NICKEL et al., 2010).

Para este projeto, o Diagrama de Mudge foi utilizado com a finalidade de ordenar as necessidades dos usuários por importância e foi concebido com base na avaliação qualitativa dos dados coletados pelos respondentes do questionário. É importante salientar que todas as necessidades são relevantes e devem ser contempladas na solução final, sendo aplicada esta ferramenta com o intuito de

facilitar as etapas posteriores de desenvolvimento do produto. A Figura 28 mostra o diagrama criado para as necessidades do usuário.

Figura 28 - Diagrama de Mudge para as necessidades do usuário.

Legenda		NECESSIDADES DO USUÁRIO						soma	%
A	5 - muito mais importante	1	2	3	4	5	6		
B	3 - medianamente mais importante	1	1B	1C	4A	5A	6A	6	10,53
C	1 - moderadamente mais importante		2	2C	4A	5A	6A	1	1,75
				3	4A	5B	6B	0	0,00
					4	4B	4A	23	40,35
						5	6C	13	22,81
							6	14	24,56
							total	57	

Fonte: a autora (2018).

Dessa forma, a priorização das necessidades do usuário ficou elencada da com maior relevância para a com menor relevância, da seguinte maneira:

- 1º) proteger efetivamente as pernas;
- 2º) realizar os trajetos com conforto;
- 3º) conseguir desempenhar bem as atividades;
- 4º) ter visual agradável;
- 5º) conseguir armazenar com facilidade;
- 6º) ter despesas reduzidas.

A partir das necessidades do usuário identificadas e do impacto que elas geram no desenvolvimento do projeto, considera-se importante também analisar tecnicamente produtos similares existentes para que seja possível, assim, definir parâmetros ideias para o produto.

4.2. ANÁLISE DIACRÔNICA DE SIMILARES

A análise diacrônica se trata de um levantamento das características do produto a ser desenvolvido ou da necessidade a ser satisfeita ao longo do tempo. Estas informações podem ser empregadas no projeto na definição das características do produto. Para a comparação dos dados levantados, recomenda-se o uso de uma

tabela, em que haja os mesmos critérios de análise para todos os produtos similares estudados (PAZMINO, 2015).

A análise realizada foi voltada para a discriminação de artigos específicos para as pernas desenvolvidos ao longo da história, cuja finalidade é proteger e garantir de alguma forma a segurança dos usuários (Quadro 4).

Quadro 4 - Análise diacrônica de similares.

Produto	 800 a.C.	 a partir de 1230	 1850	 1970	 2018
História	feitas de bronze, as primeiras proteções para pernas foram desenvolvidas pelos hoplitas gregos compondo o conjunto de armadura para batalhas	joelheiras medievais de bronze, de ferro ou de aço; eram presas aos <i>chausses</i> (calças utilizadas por baixo das armaduras); evoluíram para joelheiras presas por fivelas e tiras de couro; foram acopladas aos <i>schynbalds</i> , uma espécie de caneleira	<i>bloomers</i> eram calças largas, compridas e folgadas, usadas com punho nos tornozelos, utilizada por baixo das saias; a peça foi criada para o uso de bicicleta por mulheres	joelheiras da marca Rector, de tecido com casquilho de polímero; ajuste por tiras de velcro; eram muito utilizadas por skatistas e ciclistas	calças protetoras de joelhos e de quadril; feitas com fibra de carbono e modelagem <i>slim fit</i> ; com protetores removíveis de polímero

Fonte: a autora (2018).

4.3. ANÁLISE SINCRÔNICA DE SIMILARES

Nesta etapa de projeto, foi realizada a análise sincrônica de similares com o intuito de estender o conhecimento sobre sistemas de proteção para a região das pernas existentes no mercado.

A fim de fazer uma seleção mais minuciosa dos similares que apresentam maior relevância em termos de análise comparativa, submeteu-se a determinados parâmetros os diversos tipos de sistemas para proteção de pernas disponíveis no mercado (Apêndice 3). Desta forma, foi considerado interessante selecionar os similares mais distintos entre si, seguindo os parâmetros:

a) classificação etária, com similares voltados para uso adulto, que configura a maior parte dos usuários;

b) tipo de proteção, escolhendo formas de proteção contra acidentes envolvendo impacto e arranhões, principalmente;

c) região de proteção, buscando produtos que protejam a região do joelho até o quadril, citadas na pesquisa como as áreas da perna que sofrem mais lesões;

d) mercado, contemplando produtos disponíveis com preços acessíveis, isto é, abaixo de 150 reais (preço correspondente à metade do valor médio de uma bicicleta comum), pois este fator está ligado à adesão ou não ao uso de EPIs por parte dos ciclistas.

A partir desta pré-seleção, foram extraídos cinco similares a serem analisados quanto a seus aspectos estruturais, funcionais, morfológicos e de uso, como consta no Quadro 5.

Quadro 5 - Similares selecionados para análise.

Similar 1	Similar 2	Similar 3	Similar 4	Similar 5
				
joelheira Nautika Hit Tático R\$ 86,90	joelheira tática <i>Blackhawk V.2</i> R\$ 116,23	joelheira <i>Street Protector</i> R\$ 85,50	protetor de quadril Niggli Pads R\$ 139,90	protetor de quadril Asw <i>Image Plastic</i> R\$ 89,90

Fonte: a autora (2018).

4.3.1. Análise estrutural

Segundo Platchek (2012), a análise estrutural tem o objetivo de reconhecer e compreender tipos e número de componentes, subsistemas, princípios de montagem, tipologia de uniões e tipos de carcaças de um produto. O Quadro 6 a seguir mostra a análise estrutural dos similares selecionados.

Quadro 6 - Similares analisados estruturalmente.

Similar	Materiais	Peso	Sistema de fixação	Sistema de proteção	Sistema de união
 joelheira Nautika Hit Tático	ABS, forro de EVA e rebites metálicos	320 g	duas tiras com velcro que passam por fivelas	casquilho de ABS na parte externa protegendo a parte frontal do joelho e forro de EVA protegendo a pele	costuras entre tecidos e 8 rebites metálicos em cada unidade prendendo o casco ao tecido
 joelheira tática Blackhawk V.2	Poliuretano, forro de EVA e rebites metálicos	548 g	duas tiras com velcro que passam por fivelas e engate rápido das tiras no corpo do produto	casquilho de poliuretano na parte externa protegendo a parte frontal do joelho e forro de EVA protegendo a pele	costuras entre tecidos e 8 rebites metálicos em cada unidade prendendo o casco ao tecido
 joelheira Street Protector	85% poliamida, 15% elastano e borracha 100% TPE	200 g	a faixa de elastano fixa na perna por compressão	lâmina maleável de borracha protegendo a parte frontal do joelho	costuras entre a lâmina de borracha e o tecido
 protetor de quadril Niggli Pads	poliuretano e tecido <i>dryfit</i> com elastano	280 g	é vestido, podendo ser ajustado na cintura por um cordão de nylon	enchimento de poliuretano com 10 mm de espessura na região lateral do quadril e na parte traseira	costuras entre tecidos e espumas
 protetor de quadril Asw Image Plastic	polipropileno injetado e lycra	500 g	é vestido, com elástico adaptável na cintura	2 amortecedores de polipropileno injetado de cada lado, protegendo a região lateral da coxa e do quadril	consturas entre tecidos e polímero

Fonte: a autora (2018).

4.3.2. Análise funcional

A análise funcional engloba a função de sistemas, componentes e peças do objeto, bem como aspectos como resistência, acabamento, mecanismos, versatilidade e a possibilidade de reciclagem de suas partes constituintes. Esta análise é usada também para compreender os aspectos de uso do produto, incluindo características ergonômicas (PLATCHECK, 2012). A seguir, o Quadro 7 apresenta a análise funcional realizada com o similares.

Quadro 7 - Similares analisados funcionalmente.

Similar	Funções	Versatilidade	Resistência	Acabamento	Reciclagem
 joelheira Nautika Hit Tático	proteger a parte frontal do joelho	permite o ajuste do fechamento na perna	resistente a impacto e à abrasão	casco fosco e rebites envernizados	não apresenta direcionamento para reciclagem pós-uso pelo fabricante
 joelheira tática Blackhawk V.2	proteger a parte frontal do joelho	permite o ajuste do fechamento na perna	resistente a impacto e à abrasão	casco fosco e rebites foscos	não apresenta direcionamento para reciclagem pós-uso pelo fabricante
 joelheira Street Protector	proteger a parte frontal do joelho	elastano com ajuste limitado	resistente a impacto	acabamento emborrachado	não apresenta direcionamento para reciclagem pós-uso pelo fabricante
 protetor de quadril Niggli Pads	proteger a parte lateral do quadril e a parte traseira (cóccix)	permite o ajuste de cintura	resistente a impacto	revestimento de nylon na parte da espuma	não apresenta direcionamento para reciclagem pós-uso pelo fabricante
 protetor de quadril Asw Image Plastic	proteger lateral de quadril e lateral de coxas	elastano com ajuste limitado	resistente a impacto e à abrasão	acabamento emborrachado no elástico da cintura	não apresenta direcionamento para reciclagem pós-uso pelo fabricante

Fonte: a autora (2018).

4.3.3. Análise morfológica

De acordo com Platchek (2012), esta análise é relativa à aparência, estabilidade visual e elementos formais dos similares, observando-se a forma e a estética. Os similares selecionados foram analisados quanto a sua morfologia, como mostra o Quadro 8.

Quadro 8 - Similares analisados morfológicamente.

Similar	Cor/Acabamento	Forma	Volume/Tamanho	Embalagem
 joelheira Nautika Hit Tático	preto fosco	casquilho arredondado, convexo, com rebites nas laterais	casquilho ressaltado, com dimensões de 24 cm x 20 cm x 5 cm	embalagem de papel de 35 cm x 28 cm x 10 cm
 joelheira táctica <i>Blackhawk V.2</i>	bege fosco	casquilho arredondado, convexo, com rebites nas laterais	casquilho ressaltado, com dimensões de 14 cm x 17,5 cm e enchimento de EVA de 1,2 cm de espessura	não informado
 joelheira <i>Street Protector</i>	preto fosco	cilindro de tecido com elastano contendo uma lâmina emborrachada com reforço no centro com segmentações radiais para melhor mobilidade	<i>slim fit</i> com ressalto da lâmina emborrachada, disponível em tamanhos P, M e G	não informado
 protetor de quadril Niggli Pads	preto brilhante com detalhes em cinza	bermuda <i>slim fit</i> com 3 chapas de espuma em recortes geométricos, sendo as duas maiores posicionadas nas laterais e a menor na parte traseira	<i>slim fit</i> com ressalto da espessura da espuma, disponível em tamanhos PP, P, M, G e GG	não informado
 protetor de quadril Asw Image Plastic	preto brilhante	bermuda <i>slim fit</i> com 4 chapas de polímero na forma retangular, 2 de cada lado, com veios horizontais sulcados	<i>slim fit</i> com ressalto das placas de polímero, disponível em tamanhos P, M, G e GG	não informado

Fonte: a autora (2018).

4.3.4. Análise de uso

Esta análise tem o intuito de informar os aspectos relacionados ao manuseio do produto, pontuando as facilidades e as dificuldades relacionadas ao uso na função proposta pelo fabricante. Isso inclui apontar características de comportamento do produto, se é estável ou não, se demonstra segurança ao usuário, se é de difícil uso, além de apresentar informações relativas ao manual, caso exista.

O Quadro 9 apresenta esta análise voltada para o uso dos similares anteriormente selecionado.

Quadro 9 - Similares analisados quanto ao seu uso.

Similar	Facilidades	Dificuldades	Comportamento	Manual
 joelheira Nautika Hit Tático	colocação e retirada rápidos devido aos ajustes, podendo ser usado sobre a roupa	dificuldade em higienizar, pois os componentes não são desmontáveis; não se adapta às formas do corpo; instabilidade no corpo	o equipamento pode deslizar para baixo no momento do impacto, tornando-o menos seguro	não informado
 joelheira tática <i>Blackhawk V.2</i>	colocação e retirada práticos devido aos engates rápidos, podendo ser usado sobre a roupa	dificuldade em higienizar, pois os componentes não são desmontáveis; não se adapta às formas do corpo; instabilidade no corpo	o equipamento pode deslizar para baixo no momento do impacto, tornando-o menos seguro	não informado
 joelheira <i>Street Protector</i>	permite o uso de roupas sobre ele devido ao seu modelo <i>slim fit</i> , além de se adaptar à forma do corpo	deve ser colocado sem sapato e sem roupas por baixo; deve ser vestido pelo pé, dificultado sua colocação e retirada; de difícil higienização, pois os componentes não são desmontáveis; difícil manutenção	além de comprimir a perna de forma desconfortável, o equipamento pode deslizar para baixo, tornando-o mais instável	não informado
 protetor de quadril <i>Niggli Pads</i>	é de fácil colocação e adaptação às formas do corpo	difícil higienização e manutenção, pois seus componentes não são possíveis de serem separados; dificulta o uso de outras roupas por cima ou por baixo	é estável, mas pode causar insegurança quanto a sua estética	não informado
 protetor de quadril <i>Asw Image Plastic</i>	é de fácil colocação e adaptação às formas do corpo	difícil higienização, pois seus componentes não são possíveis de serem separados; dificulta o uso de outras roupas por cima ou por baixo	é estável, mas pode causar insegurança quanto a sua estética e quanto ao seu material de amortecimento	não informado

Fonte: a autora (2018).

4.4. CONSIDERAÇÕES DA ANÁLISE DE SIMILARES

Após a análise de similares e de suas funções relacionadas à proteção das pernas disponíveis no mercado, pode-se fazer algumas considerações. O acesso a produtos mais sofisticados e com maior tecnologia empregada é muito restrito, uma vez que estes produtos, em sua maioria, não são comercializados no Brasil. Isto pode ser explicado pelo fato de que o uso da bicicleta ainda está em sua fase inicial de adesão no país. Além disso, o contexto de uso destes dispositivos de proteção entre ciclistas brasileiros difere muito da realidade de países europeus bem desenvolvidos nessa área, como a Holanda, por exemplo.

Desta forma, foi realizada uma análise de similares com as escassas informações encontradas sobre estes produtos. Isto indica que há uma carência de equipamentos de proteção individual para pernas no mercado brasileiro, evidenciando a necessidade de desenvolvimento de uma proposta de produto que se adapte à realidade da população brasileira usuária de bicicleta.

Percebe-se que todos os similares apresentam uso de tecido como base para a implementação do material que absorve impacto. A utilização de espumas ou de polímeros rígidos para fins de proteção contra impacto é bastante comum entre estes equipamentos. Estas proteções devem ser pensadas de forma a não limitar os movimentos, reforçando o uso de recortes e de formas geométricas justapostas. O uso de ajustes e de reguladores pode facilitar o uso do produto, tornando-o mais seguro. A separação de peças pode ser um item importante a ser contemplado, uma vez que a higienização da maior parte dos produtos deste tipo se torna difícil de ser realizada.

O Quadro 10, a seguir, apresenta a análise comparativa dos similares selecionados, a fim de compilar as informações extraídas e avaliá-las com base nos conhecimentos obtidos sobre os usuários, de acordo com o desempenho dos produtos em cada um dos fatores listados.

Quadro 10 - Análise comparativa dos similares selecionados.

Similares					
Sistema de ajuste e de fixação	 ajuste e fixação simples por meio de tiras com velcro e de fivelas	 ajuste e fixação simples por meio de tiras com velcro e de engates rápidos	 deve ser vestida e o ajuste e a fixação são com elastano	 deve ser vestida e o ajuste e a fixação são com a regulagem elástica na cintura	 deve ser vestida e o ajuste e a fixação são com a regulagem elástica na cintura
Sistema de proteção	 proteção apenas da parte frontal do joelho com casquilho rígido	 proteção apenas da parte frontal do joelho com casquilho rígido	 proteção apenas da parte frontal do joelho com borrachamacia e maleável	 proteção de quadril com enchimento leve e macio de PU	 proteção de quadril e das cochas com amortecedores de PP rígido
Usabilidade	 ajuste do fechamento facilita o uso de roupas por baixo, mas pode ser instável	 engate rápido é prático e ajuste do fechamento facilita o uso de roupas por baixo, mas pode ser instável	 elastano com ajuste limitado dificulta o uso de roupas e pode deslizar para baixo	 o ajuste na cintura é estável, mas dificulta o uso de outras peças de roupa	 o ajuste na cintura é estável, mas dificulta o uso de outras peças de roupa
Forma	 casquilho protuberante e convexo, não se adapta às formas do corpo	 casquilho protuberante e convexo, não se adapta às formas do corpo	 tecido com elastano com lâmina emborrachada que facilita a mobilidade	 slim fit com amortecedores bastante volumosos de espuma	 slim fit com amortecedores discretos de polímero rígido
Manutenção	 difícil higienização da parte interna, pois os componentes não são desmontáveis	 difícil higienização da parte interna, pois os componentes não são desmontáveis	 difícil higienização e substituição de peças, pois os componentes não são desmontáveis	 difícil higienização e substituição de peças, pois os componentes não são desmontáveis e laváveis	 difícil higienização e substituição de peças, pois os componentes não são desmontáveis
Preço	 R\$ 86,90 vendido no Brasil, em loja e em sites	 R\$ 116,23 vendido no Brasil por meio de sites	 R\$ 85,50 vendido no Brasil por meio de sites	 R\$ 139,90 vendido no Brasil por meio de sites	 R\$ 89,90 vendido no Brasil por meio de sites
Avaliação geral					

Fonte: a autora (2018).

Foi possível identificar que o similar “joelheira *Street Protector*” obteve a melhor avaliação geral, oferecendo uma forma que melhor se adapta ao corpo e um sistema de proteção da parte frontal do joelho discreto e que possibilita a liberdade de movimentos, além de ter um preço acessível.

Esta análise e os pontos extraídos dela contribuem para o desenvolvimento do produto, de forma a reforçar pontos positivos percebidos nos similares, bem como contemplar pontos carentes de melhorias identificados nas análises.

4.5. ASPECTOS DA REGIÃO DA PELVE AO JOELHO

O processo de geração de alternativas para a concepção do EPI para ciclistas tem seu início com o entendimento e o estudo das partes críticas a serem protegidas contra impactos e abrasões: a região da pelve ao joelho.

De acordo com Netter (2011), o joelho é a maior e mais exigida articulação do corpo humano, sendo constituído pelos ossos fêmur, tíbia, fíbula e patela, que são combinados a estruturas de apoio e de estabilização como ligamentos, cápsula articular, meniscos e músculos (Anexo 2).

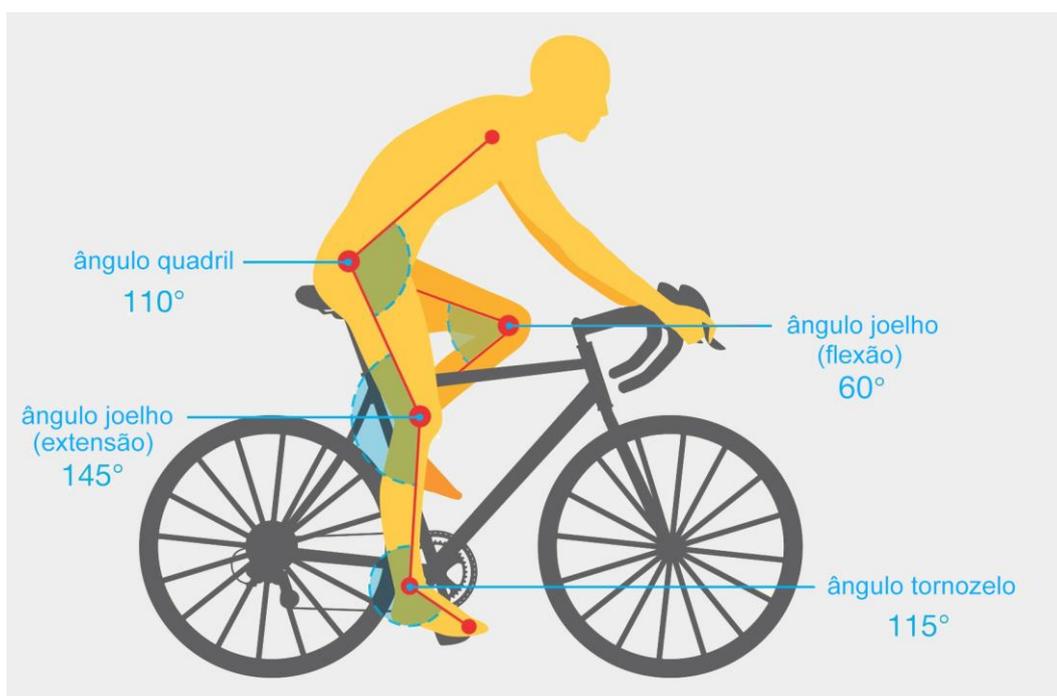
Segundo Trilha Jr. et al. (2009), no que concerne à cinemática, o joelho humano é um conjunto articulado com seis graus de liberdade, possibilitando movimentos combinados e independentes de rotação e de translação, sendo a flexão-extensão o principal movimento, que consiste na rotação em torno do eixo x. Os demais graus de liberdade são as translações superior-inferior (ao longo do eixo z), medial-lateral (ao longo do eixo x) e anterior-posterior (ao longo do eixo y) e as rotações interna-externa (em torno do eixo z) e abdução-adução (em torno do eixo y), como mostra a imagem do Anexo 3.

Assim como os joelhos, a pelve também é uma região composta por partes distintas: os ossos do quadril e os elementos inferiores da coluna vertebral. Os ossos da pelve consistem nos ossos do quadril direito e esquerdo, no sacro e no cóccix. O membro inferior é especializado para mover-se, para proteger os órgãos pélvicos e para sustentar o peso dos segmentos superiores do corpo. As articulações do quadril e da cintura pélvica são cruciais no suporte do peso e nos movimentos dos membros inferiores, podendo ser suscetível a lesões provenientes de golpe ou queda, bem como desgaste natural. O Anexo 4 apresenta a verdadeira articulação do quadril, onde ocorrem os principais movimentos desta região é a coxo-femoral, em que ocorre a união entre o acetábulo (cavidade óssea do osso pélvico) e a cabeça do fêmur (NETTER, 2011).

Quando se trata de aspectos da região da pelve ao joelho relacionadas ao posicionamento corporal no ciclismo, existem alguns pontos posturais importantes. Dessa maneira, é necessário compreender que os movimentos de joelho utilizados para pedalar são a flexão e a extensão (rotação em torno do eixo x). Segundo Peveler et al. (2007), é recomendado que a altura do selim seja regulada por meio do ângulo de extensão do joelho de 145° (refletindo em um ângulo de flexão do joelho de 60°),

que faz com que os joelhos não sofram o golpe de extensão máxima, algo relevante tanto para a prevenção de lesões, quanto para o aumento do desempenho. Outro aspecto importante é que quando a patela está alinhada ao centro do pedal (pé-de-vela na horizontal, isto é, a 90°) o joelho é considerado em posição neutra. Quando se trata da angulação adequada do quadril, deve-se atentar para que o ângulo entre o tronco e a coxa seja de 110° , como mostra a Figura 29.

Figura 29 - Orientação corporal dos membros inferiores na bicicleta.



Fonte: adaptado de Bike (2019).

Os aspectos acima mencionados são essenciais para projetar um EPI para a região da pelve ao joelho que proteja a área especificada levando em consideração as condições posturais dinâmicas de um ciclista e possibilitando o bom desempenho e a liberdade de movimentos do usuário.

5. ESPECIFICAÇÕES DE PROJETO

A partir das análises realizadas e dos pontos extraídos delas, é importante tangibilizar estas informações de forma a gerar diretrizes para o produto a ser desenvolvido. Esta etapa contempla aspectos voltados para a especificação destas diretrizes, de forma a direcionar a concepção do produto e de seu conceito final.

5.1. REQUISITOS DO USUÁRIO

A análise de cada necessidade listada na seção anterior, respaldou a definição dos requisitos de usuário, bem como a definição de atributos para cada requisito. Para tanto, foi utilizado o método de conversão de necessidades em requisitos de usuário sugerido por Back et al. (2013), em que é indicada a utilização de uma linguagem compacta para a melhor compreensão do conteúdo, como é mostrado no Quadro 11, a seguir.

Quadro 11 - Conversão das necessidades do usuário em requisitos e atributos.

Necessidades do usuário	Requisitos do usuário	Atributo
Proteger efetivamente as pernas	Ter proteção adequada para as pernas	Proteção
Realizar os trajetos com conforto	Ser confortável	Ergonomia
Conseguir desempenhar bem as atividades	Ser adequado às atividades	Versatilidade
Ter visual agradável	Ser esteticamente atrativo	Esteticidade
Conseguir armazenar com facilidade	Ser de fácil armazenagem	Manuseio
Ter despesas reduzidas	Ter baixo custo	Vendabilidade

Fonte: a autora (2018).

A fim de organizar cada requisito do usuário por grau de importância, aplicou-se o Diagrama de Mudge, cujos pesos obtidos na soma, apresentados na Figura 30, foram utilizados posteriormente na matriz de Desdobramento da Função Qualidade (QFD).

Figura 30 - Diagrama de Mudge para os requisitos do usuário.

Legenda		REQUISITOS DO USUÁRIO						soma	%
A	5 - muito mais importante	1	2	3	4	5	6		
B	3 - medianamente mais importante	1	1B	1B	1A	1A	1A	21	42,86
C	1 - moderadamente mais importante		2	2C	2B	2A	2B	12	24,49
				3	3A	3A	3C	11	22,45
1	Ter proteção adequada para as pernas				4	4B	6C	3	6,12
2	Ser confortável					5	6C	0	0,00
3	Ser adequado às atividades						6	2	4,08
4	Ser esteticamente atrativo						total	49	
5	Ser de fácil armazenagem								
6	Ter baixo custo								

Fonte: a autora (2018).

O Quadro 12 mostra o ordenamento dos requisitos do usuário de acordo com os pesos obtidos no Diagrama de Mudge.

Quadro 12 - Priorização dos requisitos do usuário e seus pesos.

Ordem	Requisitos do usuário	Pesos
1º	Ter proteção adequada para as pernas	21
2º	Ser confortável	12
3º	Ser adequado às atividades	11
4º	Ser esteticamente atrativo	3
5º	Ter baixo custo	2
6º	Ser de fácil armazenagem	0

Fonte: a autora (2018).

5.2. REQUISITOS DE PROJETO

Após o estabelecimento dos requisitos de usuário, foi possível extrair os requisitos de projeto, que serão as diretrizes a serem adotadas e contempladas pelo produto, de forma a cumprir adequadamente o objetivo geral do projeto. Cada requisito de usuário foi avaliado e convertido em um ou mais requisitos de projeto iniciais, como descrito no Quadro 13.

Quadro 13 - Conversão dos requisitos do usuário em requisitos de projeto.

Requisitos do usuário	Requisitos de projeto
Ter proteção adequada para as pernas	<ul style="list-style-type: none"> Contemplar a proteção das áreas críticas das pernas Garantir segurança ao realizar os movimentos Ser estável no corpo do usuário Ter sistemas de proteção contra impactos e abrasões
Ser confortável	<ul style="list-style-type: none"> Ter dimensões compatíveis com o corpo do usuário Proporcionar conforto durante sua utilização Ter sistema de fixação ajustável Ter peso reduzido Permitir a transpiração Oferecer sistema de fechamento prático Proporcionar conforto em condições climáticas intensas
Ser adequado às atividades	<ul style="list-style-type: none"> Oferecer liberdade de movimentos Ser versátil para uso em diferentes atividades com bicicleta Ter boa performance em condições climáticas intensas
Ser esteticamente atrativo	<ul style="list-style-type: none"> Ter sistema de proteção discreto Ter formas, cores e texturas atrativas
Ser de fácil armazenagem	<ul style="list-style-type: none"> Ter higienização facilitada Ter forma e dimensões compactáveis
Ter baixo custo	<ul style="list-style-type: none"> Oferecer processo de produção acessível Ter custo de produção acessível

Fonte: a autora (2018).

Com o intuito de priorizar os requisitos de projeto, foi utilizada a matriz de Desdobramento da Função Qualidade (QFD), como indicado por Back et al. (2013), com algumas adaptações (Apêndice 4). Esta ferramenta consiste em uma matriz de inter-relação que busca traduzir os requisitos do projeto em especificações técnicas e mensuráveis.

A partir dos resultados numéricos da matriz QFD, é possível classificar os requisitos de projeto por ordem de importância, visando ao atendimento dos requisitos do usuário e à contemplação correta dos objetivos estabelecidos. O Quadro 14, a

seguir, mostra os requisitos de projeto listados em ordem de prioridade, além das estruturas naturais com potencial análogo para atender a determinados requisitos.

Quadro 14 - Priorização dos requisitos de projeto.

Ordem	Requisitos de projeto	Avaliação	Potencial análogo
1º	Ser estável no corpo do usuário	330	
2º	Ter sistemas de proteção contra impactos e abrasões	329	estruturas dos élitros e das cascas
3º	Permitir a transpiração	308	estrutura porosa da casca de pau-ferro / estrutura alveolar
4º	Contemplar a proteção das áreas críticas das pernas	260	
5º	Garantir segurança ao realizar os movimentos	234	
6º	Oferecer liberdade de movimentos	228	pernas com artículos (<i>Chrysomelidae</i> e <i>Sacarabeidae</i>)
7º	Ter sistema de fixação ajustável	209	pernas segmentadas (<i>Chrysomelidae</i> e <i>Sacarabeidae</i>)
8º	Proporcionar conforto durante sua utilização	207	
9º	Ter dimensões compatíveis com o corpo do usuário	191	
10º	Ter boa performance em condições climáticas intensas	174	texturas dos élitros
11º	Proporcionar conforto em condições climáticas intensas	140	texturas dos élitros / estrutura alveolar de amostras de élitro e de casca
12º	Ser versátil para uso em diferentes atividades com bicicleta	126	
13º	Ter peso reduzido	121	estrutura alveolar oca (casca noz pecan)
14º	Oferecer sistema de fechamento prático	97	encaixe por interferência das escamas (<i>Curculionidae</i>)
15º	Ter formas, cores e texturas atrativas	80	texturas dos élitros / cores e padrões dos élitros
16º	Ter forma e dimensões compactáveis	44	
17º	Ter custo de produção acessível	33	
18º	Ter sistema de proteção discreto	29	
19º	Oferecer processo de produção acessível	27	
20º	Ter higienização facilitada	5	

Fonte: a autora (2018).

5.2.1. Conversão dos requisitos de projeto em especificações do produto

A partir da definição e da hierarquização dos requisitos de projeto, discriminando os potenciais análogos dos elementos naturais estudados, foram estabelecidas especificações do produto (Quadro 15). Segundo Back et al. (2013), esta atividade proporciona o entendimento e a descrição do problema na forma funcional, quantitativa e qualitativa, provendo suporte na geração de alternativas.

Quadro 15 - Conversão dos requisitos de projeto em especificações do produto.

Ordem	Requisitos de projeto	Especificações do produto
1º	Ser estável no corpo do usuário	<ul style="list-style-type: none"> - Oferecer sistema de fixação que prenda o equipamento ao corpo do usuário, como <i>slim fit</i> ou engates rápidos - Apresentar formas orgânicas que se adaptem e se fixem ao corpo com mais facilidade - Ser feito com material que garanta aderência, como elastano
2º	Ter sistemas de proteção contra impactos e abrasões	<ul style="list-style-type: none"> - Fornecer uma cobertura resistente de materiais adequados como ABS, TPE, PU, PP ou EVA para a região dos quadris aos joelhos - Apresentar forma estrutural resistente a impactos e a abrasões, como a forma alveolada ou de colmeia
3º	Permitir a transpiração	<ul style="list-style-type: none"> - Apresentar orifícios nas estruturas de proteção - Utilizar material com boa respirabilidade (aproximadamente 5000 mm/m²/24 h) na base de contato com o corpo, como <i>Dry Fit</i>
4º	Contemplar a proteção das áreas críticas das pernas	<ul style="list-style-type: none"> - Oferecer partes com maior reforço de proteção a impactos e a abrasões nas áreas críticas (pelve, joelhos, laterais de coxas)
5º	Garantir segurança ao realizar os movimentos	<ul style="list-style-type: none"> - Conter componentes enxutos com até aproximadamente 1 cm de ressalto que não enganchem na bicicleta
6º	Oferecer liberdade de movimentos	<ul style="list-style-type: none"> - Apresentar proteção maleável que se adapte aos ângulos de 60° (flexão) e de 145° (extensão) do joelho e de 110° da pelve, bem como demais curvas da área das coxas - Utilizar formas flexíveis, como colmeias, teias e alvéolos
7º	Ter sistema de fixação ajustável	<ul style="list-style-type: none"> - Fornecer mecanismos como travas, fivelas de ajuste, velcro ou malhas vestíveis com grade de tamanhos - Utilizar componentes dobráveis que permitam o ajuste no corpo, como reforços de ABS, de TPE e de PU
8º	Proporcionar conforto durante sua utilização	<ul style="list-style-type: none"> - Priorizar formatos anatômicos e com ventilabilidade - Apresentar materiais com boa respirabilidade (como 5000 mm/m²/24 h) - Usar materiais com algum nível de hidrofobia
9º	Ter dimensões compatíveis com o corpo do usuário	<ul style="list-style-type: none"> - Priorizar formatos <i>slim fit</i> com ventilabilidade - Ter uma estrutura de proteção adaptável que faça movimentos de expansão e de contração, como ocorre materiais termofixos
10º	Ter boa performance em condições climáticas intensas	<ul style="list-style-type: none"> - Utilizar formatos aerodinâmicos - Utilizar formas canalizadoras de água, como os sulcos das amostras de insetos - Ser feito de materiais hidrofóbicos
11º	Proporcionar conforto em condições climáticas intensas	<ul style="list-style-type: none"> - Apresentar sulcos canalizadores de líquidos na superfície das partes de proteção - Usar tecidos com boa respirabilidade (5000 mm/m²/24 h), como tecidos de poliamida e de elastano
12º	Ser versátil para uso em diferentes atividades com bicicleta	<ul style="list-style-type: none"> - Permitir a substituição de componentes - Possibilitar a retirada de componentes para higienização
13º	Ter peso reduzido	<ul style="list-style-type: none"> - Utilizar materiais leves, como PU, EVA e ABS - Oferecer estrutura otimizada com uso de menos material - Ter peso próximo da faixa de 200 g a 280 g, como os menores pesos dos similares analisados
14º	Oferecer sistema de fechamento prático	<ul style="list-style-type: none"> - Utilizar engates rápidos - Usar fivelas de pressão
15º	Ter formas, cores e texturas atrativas	<ul style="list-style-type: none"> - Priorizar relevos de material abaixo de 1 cm de espessura - Utilizar cores neutras, como preto e escala de cinza ou nudes e terrosos - Apresentar texturas orgânicas e de rugosidade superficial próxima de 0,2 µm (para injetados) nas partes de proteção
16º	Ter forma e dimensões compactáveis	<ul style="list-style-type: none"> - Utilizar componentes com articulações - Poder ficar com dimensões abaixo de 20 cm após a compactação
17º	Ter custo de produção acessível	<ul style="list-style-type: none"> - Otimizar processos de manufatura - Tentar utilizar no máximo 3 materiais diferentes (para acabamento, para base e para proteção)
18º	Ter sistema de proteção discreto	<ul style="list-style-type: none"> - Apresentar proteções com espessura inferior a 1 cm - Oferecer formas orgânicas mais semelhantes ao corpo - Ter cores neutras, como preto, escalas de cinza, nudes ou terrosos
19º	Oferecer processo de produção acessível	<ul style="list-style-type: none"> - Priorizar uso de tecnologias simples - Utilizar poucos tipos de processos diferentes
20º	Ter higienização facilitada	<ul style="list-style-type: none"> - Possibilitar a troca de componentes - Priorizar textura com rugosidade superficial próxima de 0,2 µm (para injetados) nas partes de proteção - Utilizar materiais inertes como ABS, TPE ou PP

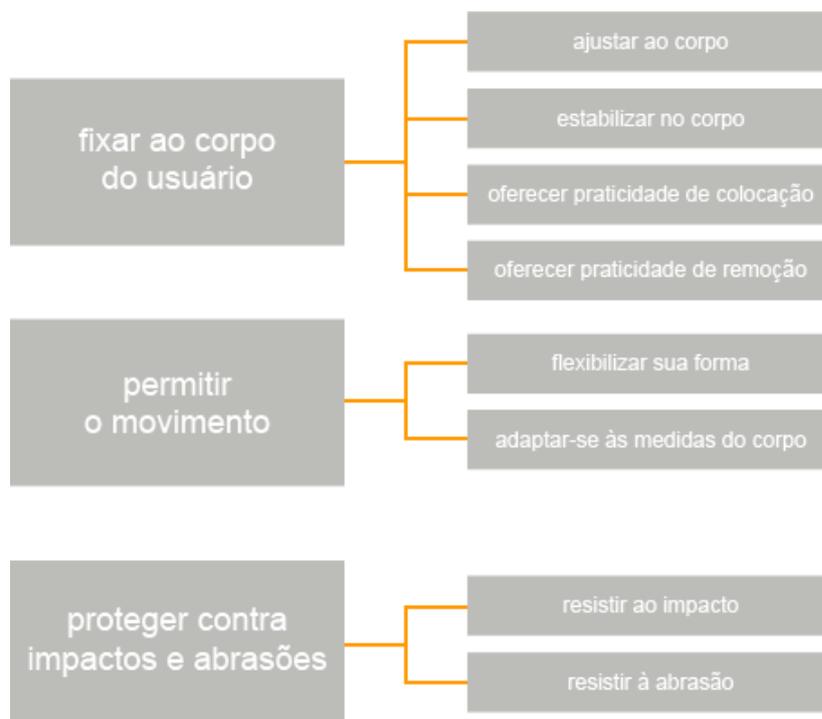
Fonte: a autora (2018).

5.3. FUNÇÃO GLOBAL DO PRODUTO

Para Back et al. (2013), a busca por soluções é constituída por cinco etapas: formulação da função global, definição do fluxo de funções do problema, geração de princípios de solução alternativos para cada função da estrutura, combinação de um princípio de cada função do fluxo para gerar alternativas para o problema global; seleção das concepções viáveis.

Nesse sentido, um equipamento de proteção individual para a região dos quadris aos joelhos deve atender às funções de se fixar e de se ajustar ao corpo do usuário e de proteger a região especificada contra impactos e abrasões. As duas funções globais foram desmembradas em subfunções com base nos sistemas já conhecidos e nas necessidades a serem atendidas (Figura 31).

Figura 31 - Função global e subfunções do produto.



Fonte: a autora (2018).

6. PROJETO CONCEITUAL

Na etapa de projeto conceitual, são desenvolvidas e apresentadas possíveis soluções que atendam às especificações estipuladas. Nesse processo, são utilizados métodos e ferramentas que possibilitam obter um conjunto de soluções potenciais. Dessa forma, como resultado da comparação e da combinação das diferentes alternativas de soluções, é selecionada a melhor e mais adequada configuração para o projeto. Após a seleção da alternativa final, é realizado o detalhamento do projeto, em que são determinados os componentes técnicos, as dimensões e a análise estrutural do produto (BACK et al., 2013).

O projeto conceitual foi embasado nas estruturas naturais estudadas e identificadas na pesquisa exploratória como soluções potenciais e foi apoiado nos requisitos de projeto, priorizados pela matriz QFD. Durante todo o projeto conceitual, é retomada a ferramenta de análise de similares.

6.1. DIRETRIZES DO PROJETO

Com base nas informações coletadas nas etapas anteriores, entende-se que o produto a ser desenvolvido deve atender a diversos requisitos, tanto de usuário, quanto de projeto, de forma a incentivar a adesão dos ciclistas ao uso de equipamentos de proteção individual para as pernas.

Grande parte dos usuários apontou, no questionário, que faz uso regular da bicicleta. Dessa maneira, é importante projetar um EPI para as pernas que seja prático em seu uso, sendo ajustável, compactável e com componentes de fácil manutenção. Além disso, o produto deve ser versátil, contemplando a proteção em situações diversas.

Tendo em vista o uso recorrente da bicicleta pelos usuários, é importante que o sistema de proteção para pernas ofereça conforto, permitindo a transpiração adequada. Ademais, o produto deve ser leve e macio nas partes de contato com a pele.

Foi apontado também que a estética dos produtos disponíveis é obsoleta e inadequada, o que reforça a necessidade de se pensar em um EPI com um visual moderno e discreto, que contemple as preferências do público adulto, com formas

orgânicas e junções que acompanhem a silhueta do corpo e que estejam em consonância com os estudos biônicos de elementos naturais.

Neste sentido, a efetividade da proteção é um ponto essencial para a credibilidade e para a adesão ao uso do produto, devendo possuir um sistema amortecedor de impacto e de abrasão para a região do quadril ao joelho que transmita segurança e estabilidade.

Por fim, identificou-se que o preço dos EPIs para pernas disponíveis não está de acordo com as expectativas dos usuários, especialmente por não se tratar de um equipamento de uso obrigatório. Dessa forma, o projeto do produto deve considerar processos e custos de produção que contribuam para que o EPI tenha um preço adequado.

6.2. CONCEITO DA PROPOSTA

A fim de melhor compreender o usuário e os conceitos que definirão o produto, foram utilizadas ferramentas de projeto, como a criação de personas, de cenários e de painéis semânticos a partir de um grupo focal, direcionando de forma mais assertiva o projeto.

6.2.1. Personas

A criação de personas é uma ferramenta de projeto que consiste em definir um personagem fictício, isto é, um arquétipo hipotético de um grupo de usuários reais, a fim de possibilitar a visualização elucidada de um consumidor em potencial, ampliando o foco no usuário. Esse método torna mais fácil o entendimento de aspectos como o comportamento e os objetivos dos usuários, bem como seus desejos e suas frustrações, auxiliando no desenvolvimento do produto (COOPER, 2004).

Para este projeto, foram criadas três personas com características específicas que utilizam a bicicleta para atividades diferentes, como lazer, deslocamento e esporte e, para cada persona, foi desenvolvido um gráfico radar, de forma a tornar os perfis mais visuais e a compreensão dos usuários mais fácil (Figura 32).

Figura 32 - Personas do projeto.



Fonte: a autora (2019).

As personas contribuíram na identificação dos diferentes perfis potencialmente relacionados ao público-alvo. Elas favoreceram a posterior discussão sobre a ênfase na característica ideal do produto, considerando uma possível priorização de um perfil

em relação aos demais, tendo em vista suas grandes diferenças por meio de objetivos distintos.

6.2.2. Cenários

A construção de cenários em projetos de design auxilia na comunicação da essência da idéia do produto dentro de um contexto provável de uso. Cenários são as principais ações que os usuários podem fazer, tipicamente, com muita frequência e mapear alguns cenários comuns possibilita a compreensão das limitações da solução (COOPER, 2004).

O cenário a seguir (Figura 33), foi criado para representar e para facilitar o entendimento de situações comuns a ciclistas que usam os EPIs para as pernas disponíveis no mercado hoje. Pode-se perceber que existem diversos cenários a serem observados, que vão desde a escolha e colocação da roupa sob o EPI, até o armazenamento dele. É possível concluir também que usuários frequentes de bicicleta em meio urbano possuem algumas questões semelhantes a usuários esportistas, como as condições das vias em que trajetam e, principalmente, o eventual deslocamento do EPI em acidentes, causando traumas e comprometendo a segurança física do ciclista.

Figura 33 - Cenários do projeto.



Fonte: a autora (2019).

6.2.3. Grupo focal

De acordo com Freitas et al. (2016), o grupo focal consiste em uma técnica de coleta de dados que pode ser aplicada no processo de design e tem como objetivo elucidar informações importantes sobre a relação de determinado assunto específico e um grupo selecionado de usuários. As informações coletadas podem estar relacionadas a sentimentos, a valores e a ideias dos participantes envolvidos. Como técnica diagnóstica, o grupo focal permite o entendimento e o redirecionamento do projeto de produto pela incorporação da perspectiva do usuário.

Sendo assim, foi realizado um grupo focal com 6 participantes usuários de bicicleta de diferentes círculos sociais e que a utilizam para diferentes fins. A técnica foi utilizada com o objetivo de compreender quais são os aspectos relacionados à expressão e ao tema visual do produto a ser desenvolvido que são considerados importantes e interessantes para os usuários. O grupo focal durou aproximadamente uma hora e foi conduzido de forma a apresentar brevemente a problemática do projeto, seguindo para a apresentação de diversas imagens pré-selecionadas que

representam diferentes conceitos e características possíveis para um produto (Figura 34).

Figura 34 - Realização do grupo focal.



Fonte: a autora (2019).

A partir disso, os usuários foram convidados a selecionar de três a quatro imagens que representam suas preferências quanto aos sentimentos e às expressões que gostariam que fossem transmitidas pelo produto. Percebeu-se que 5 dos 6 participantes selecionaram imagens que remetem a conforto, discrição, segurança e praticidade. Após essa etapa, foi pedido que escolhessem imagens que representam suas preferências estéticas e sensoriais no produto. Foi possível constatar que todos os participantes compilaram imagens relacionadas ao uso de cores neutras, com texturas macias e formas modernas e orgânicas.

6.2.4. Painéis semânticos

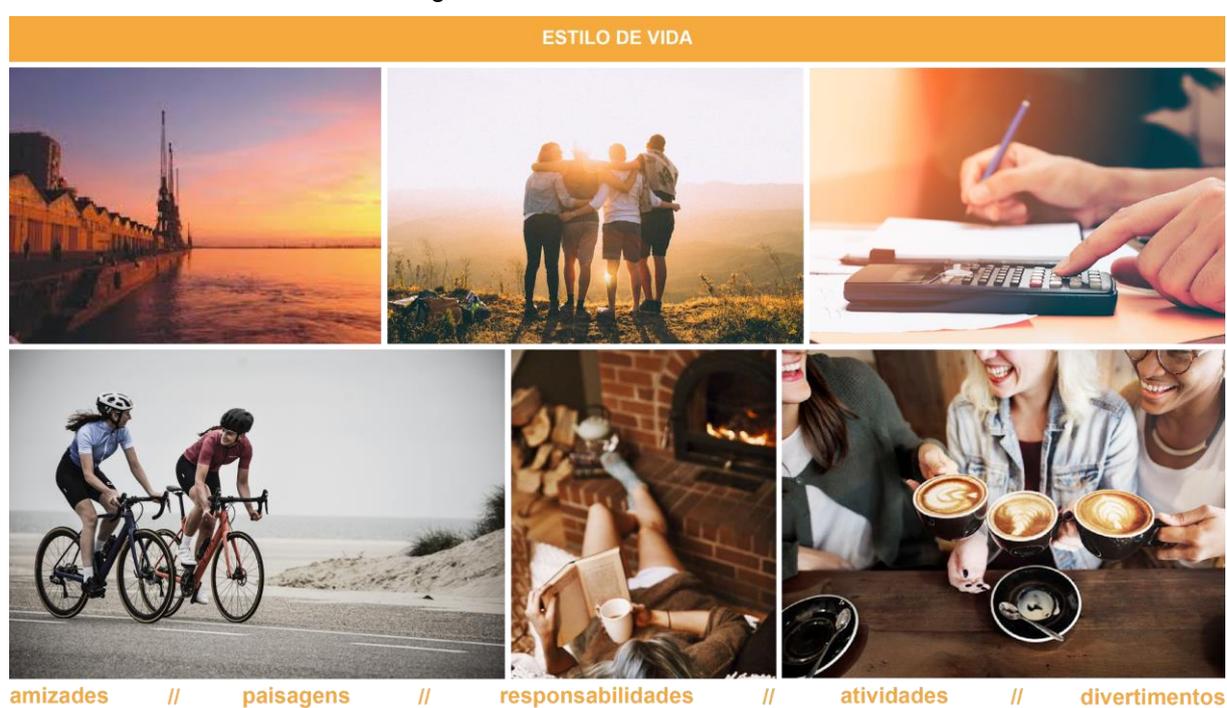
De acordo com Baxter (2011), os produtos devem ser projetados para transmitir determinados sentimentos e emoções. Nesse sentido, o uso da ferramenta de painéis semânticos como painel de estilo de vida, de expressão do produto e de tema visual, é adequado para este fim.

A partir das especificações do projeto, das personas e da realização do grupo focal, foram estipulados os conceitos e os atributos que devem ser transmitidos pelo

produto. Para a concretização visual dos dados coletados, foram elaborados três painéis semânticos contendo imagens com potencial de contribuição na concepção do produto.

O painel de estilo de vida (Figura 35), apresenta imagens que correspondem aos valores e aos aspectos relacionados aos usuários. Alguns pontos importantes a serem destacados incluem a apreciação por paisagens, o apreço por companhias, seja para lazer, seja para praticar atividades e o senso de responsabilidade.

Figura 35 - Painel de estilo de vida.



Fonte: a autora (2019).

Apresentando imagens que representam as emoções transmitidas pelo produto, o painel de expressão do produto (Figura 36) mostra que alguns dos aspectos desejados mais importantes nesse caso são ser seguro, prático, discreto, confortável e simples.

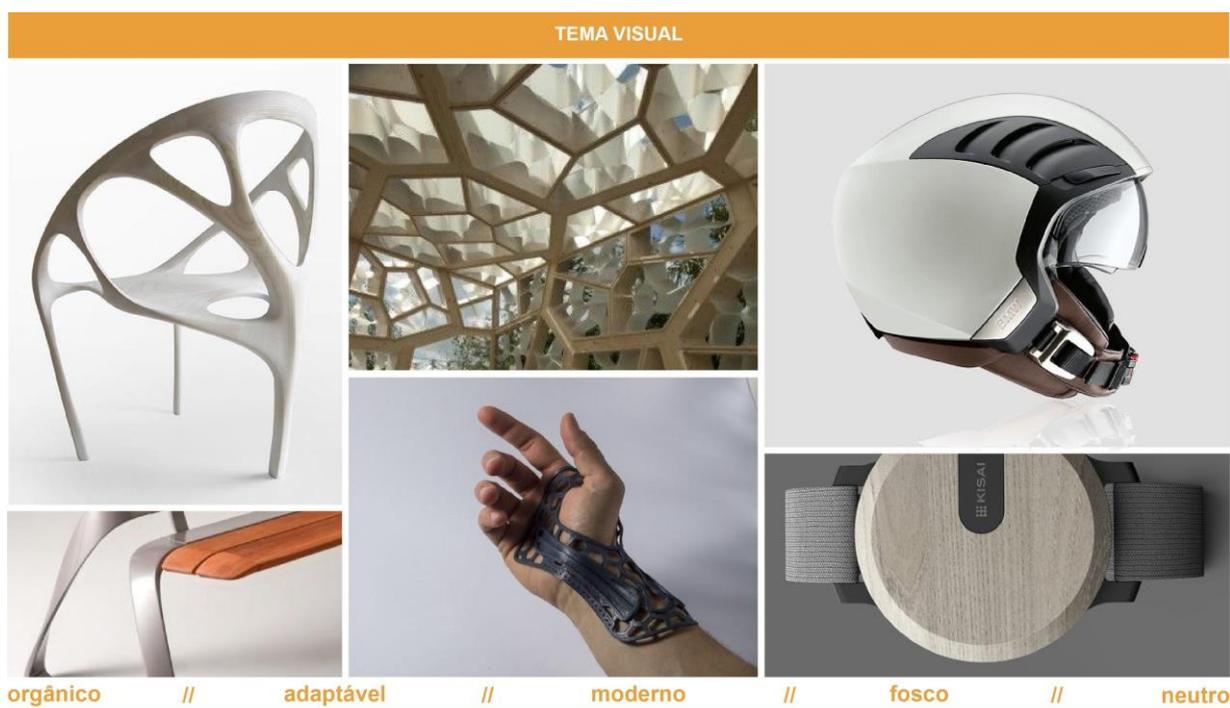
Figura 36 - Painel de expressão do produto.



Fonte: a autora (2019).

O painel de tema visual (Figura 37) é importante para mostrar as características desejadas do produto quanto à sua imagem e ao seu visual estético. Dessa maneira, o painel desenvolvido representa um produto moderno, com textura fosca e com cores neutras, além de formas orgânicas e adaptáveis.

Figura 37 - Painel de tema visual.



Fonte: a autora (2019).

6.2.5. Definição do direcionamento de projeto

As informações coletadas ao longo do trabalho e a partir do uso das ferramentas de projeto implementadas anteriormente, é possível identificar que o produto deve ter características técnicas muito bem desenvolvidas, aproveitando ao máximo as estruturas complexas identificadas na natureza. Dessa maneira, o produto atenderá aos requisitos respeitando sua hierarquização, dando foco primordial para os aspectos de estabilidade, de proteção, de conforto e de performance. Tendo em vista tais aspectos e a diversidade de perfis de usuário, o desenvolvimento do produto foi direcionado para o usuário que utiliza a bicicleta para a prática de esportes.

O direcionamento estabelecido para o produto possibilita que, eventualmente, ele seja simplificado para uma forma mais acessível, contemplando outros tipos de usuários que demandam características técnicas menos complexas e nível de performance mais baixo. Dessa forma, o produto dará peso para os aspectos citados, seguindo os conceitos de segurança, de conforto, de praticidade, de modernidade e de simplicidade.

6.3. GERAÇÃO DE ALTERNATIVAS

A partir da identificação dos aspectos, dos requisitos e das especificações a serem atendidas pelo projeto, a etapa subsequente do trabalho consiste na geração de alternativas, em que são retomadas também as análises de similares para direcionamento do trabalho.

Pode-se perceber que o produto deve apresentar uma estrutura estável no corpo do usuário, que possibilite a liberdade de movimentos e que proteja as áreas críticas das pernas contra impacto e abrasão. Portanto, a geração de alternativas teve como ponto de partida o desenvolvimento de sketches básicos, com o intuito de conceber o maior número possível de alternativas para a solução do problema.

6.3.1. Matriz morfológica

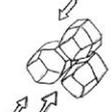
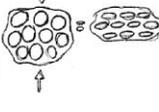
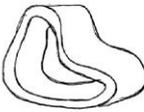
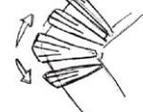
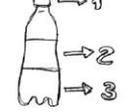
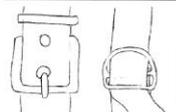
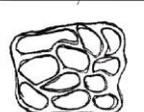
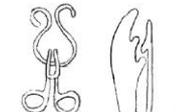
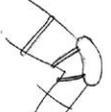
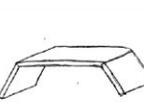
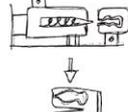
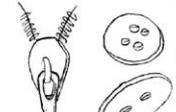
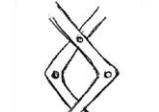
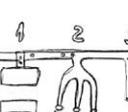
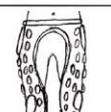
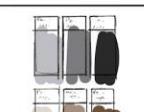
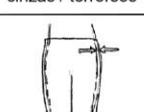
A matriz morfológica consiste em uma tabela cuja primeira coluna contém as características gerais e os atributos (como partes e funções) que são relevantes para o problema e as linhas contém as alternativas para cada atributo ou função (PLATCHECK, 2012).

Essa ferramenta permite organizar e analisar as combinações dos elementos que configuram problemas multidimensionais, isto é, a partir de um problema complexo, seleciona-se os elementos que o constituem, dividindo-o em problemas mais simples, tratando individualmente cada subproblema (PLENTZ, 2011).

Dessa forma, foi desenvolvida para o projeto uma matriz morfológica (Figura 38) com sete características importantes de serem contempladas pelo produto: fixar/ajustar ao corpo, proteger contra impacto/abrasão, ser confortável, ser discreto, proporcionar boa performance, ter custo reduzido e facilitar armazenagem.

Com a ferramenta, foi possível identificar e discriminar variadas soluções possíveis para o projeto dentro de cada característica mencionada. A partir disso, pode-se selecionar, combinar e rearranjar diferentes soluções para gerar alternativas diversas para atender ao problema de projeto.

Figura 38 - Matriz morfológica.

estabilidade	proteção	conforto	performance	estética	armazenagem	custo
 engate rápido	 alveolar / carabidae	 estrutura leve	 forma flexível	 forma orgânica	 dobrável	 poucos materiais
 fivela	 casquilho duro	 ajustável	 canalizar líquidos	 padrão orgânico	 expande / contrai	 otimização de materia
 encaixe / scarabaeidae	 acolchoado	 anatômico	 movimentos livres	 forma geométrica	 maleável	 tecnologia simples
 aviamento	 molas	 tecido hidrofóbico	 articulação	 padrão geométrico	 partes separadas	 poucos processos
 elástico e anatômico	 polímero vazado	 poros e respirabilidade	 praticidade de uso	 cinzas / terrorsos		
 velcro / curculionidae	 inflado			 pouco ressaltado		

Fonte: a autora (2019).

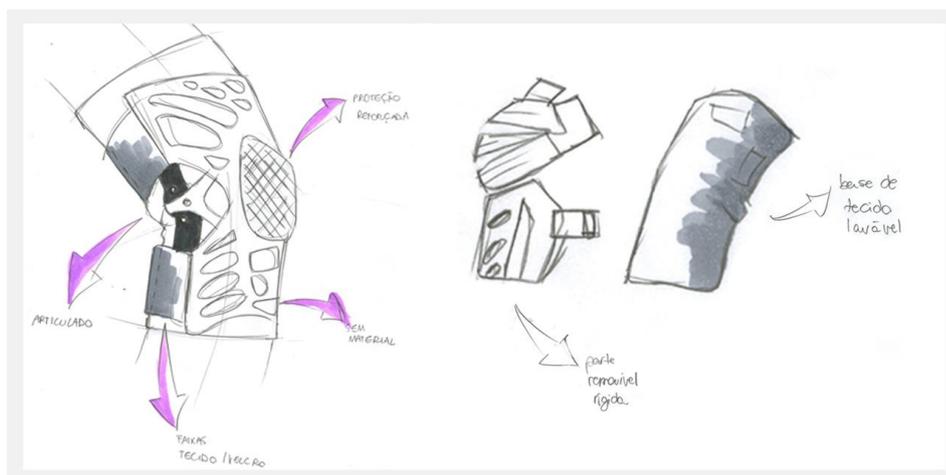
6.3.2. Sketches iniciais

Nesta etapa, foram feitos sketches iniciais explorando diferentes soluções, considerando características formais, estruturais e funcionais levantadas, de forma a contribuir para a posterior geração das alternativas pré-selecionadas. Tendo em vista as informações coletadas por meio da criação de personas, de cenários, de painéis

semânticos e da matriz morfológica, foram desenvolvidos sketches levando em conta formas potenciais de configuração do produto.

Um dos aspectos abordados nas alternativas iniciais foi a liberdade de movimentos, que foi representada na forma de uma articulação rotatória na lateral do joelho. Além disso, foi explorado o uso de aberturas na dobra traseira do joelho, liberando a flexão e melhorando a performance e o conforto. Na estrutura de proteção, foram usadas partes vazadas para diminuir o peso do equipamento. Considerando o aspecto da armazenagem, foi gerado outro sketch mostrando o uso de partes independentes e desmontáveis, que podem ser dobradas e mais facilmente manuseadas e higienizadas (Figura 39).

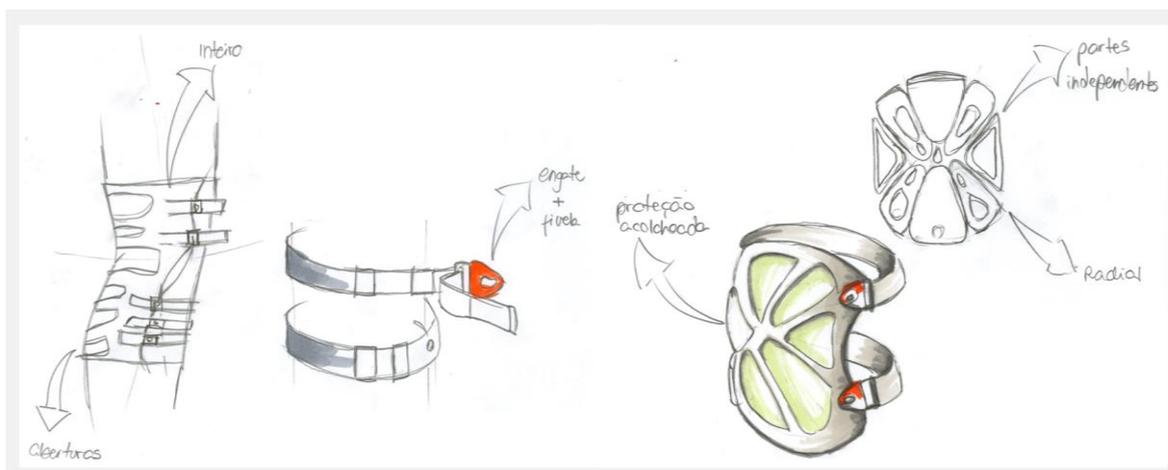
Figura 39 - Sketch inicial dos aspectos conforto, performance e armazenagem.



Fonte: a autora (2019).

Outros aspectos foram explorados, como a estabilidade no corpo, pela fixação por meio de fivelas e de engates rápidos por pressão e por interferência, facilitando o ajuste ao usuário. Foi utilizada a opção das fitas de velcro que fixam o equipamento ao corpo do usuário da região da panturrilha para cima. Tratando-se de soluções de proteção, foram desenvolvidos sketches que contemplavam a forma de ressaltos radiais para a região dianteira e lateral do joelho, baseadas no similar analisado “joelheira *Street Protector*”, que obteve a melhor pontuação na tabela de análise comparativa de similares. Além disso, foi utilizado o ressalto acolchoado e com partes independentes, que facilitam o movimento e a adaptação ao corpo, conforme mostra a Figura 40.

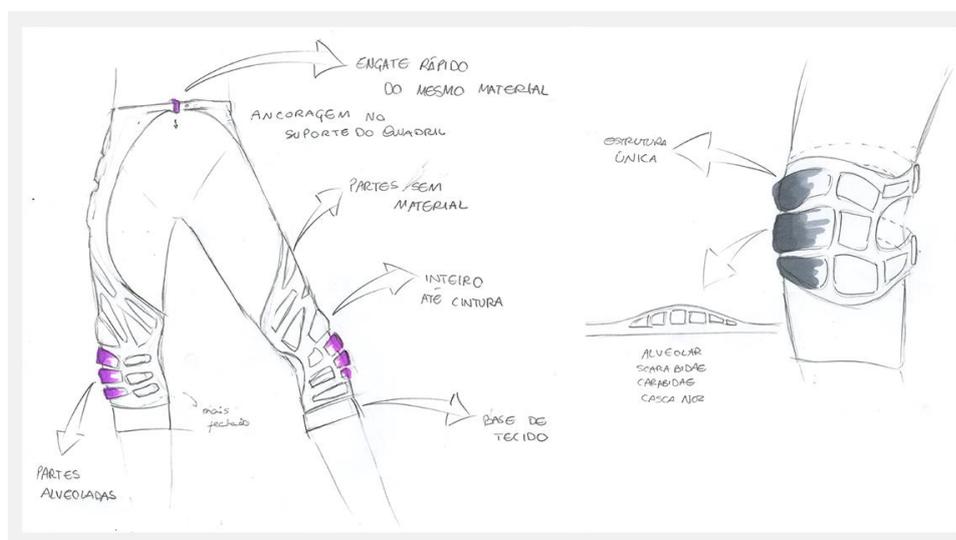
Figura 40 - Sketch inicial dos aspectos estabilidade e proteção.



Fonte: a autora (2019).

Foram abordados também atributos relacionados ao custo do produto, de forma que sejam usados poucos tipos de materiais diferentes, focando também na geração de um equipamento que possa ser produzido com menos processos. O sketch apresenta também a adaptação das formas ao corpo do usuário, sendo ajustado com engates e reguladores e com o uso de material elástico. O sistema de proteção consiste em saliências leves com alvéolos de ar em seu interior, conforme as estruturas de proteção do élitro das amostras de inseto estudadas (Figura 41).

Figura 41 - Sketch inicial dos aspectos estabilidade, proteção, conforto e custo.

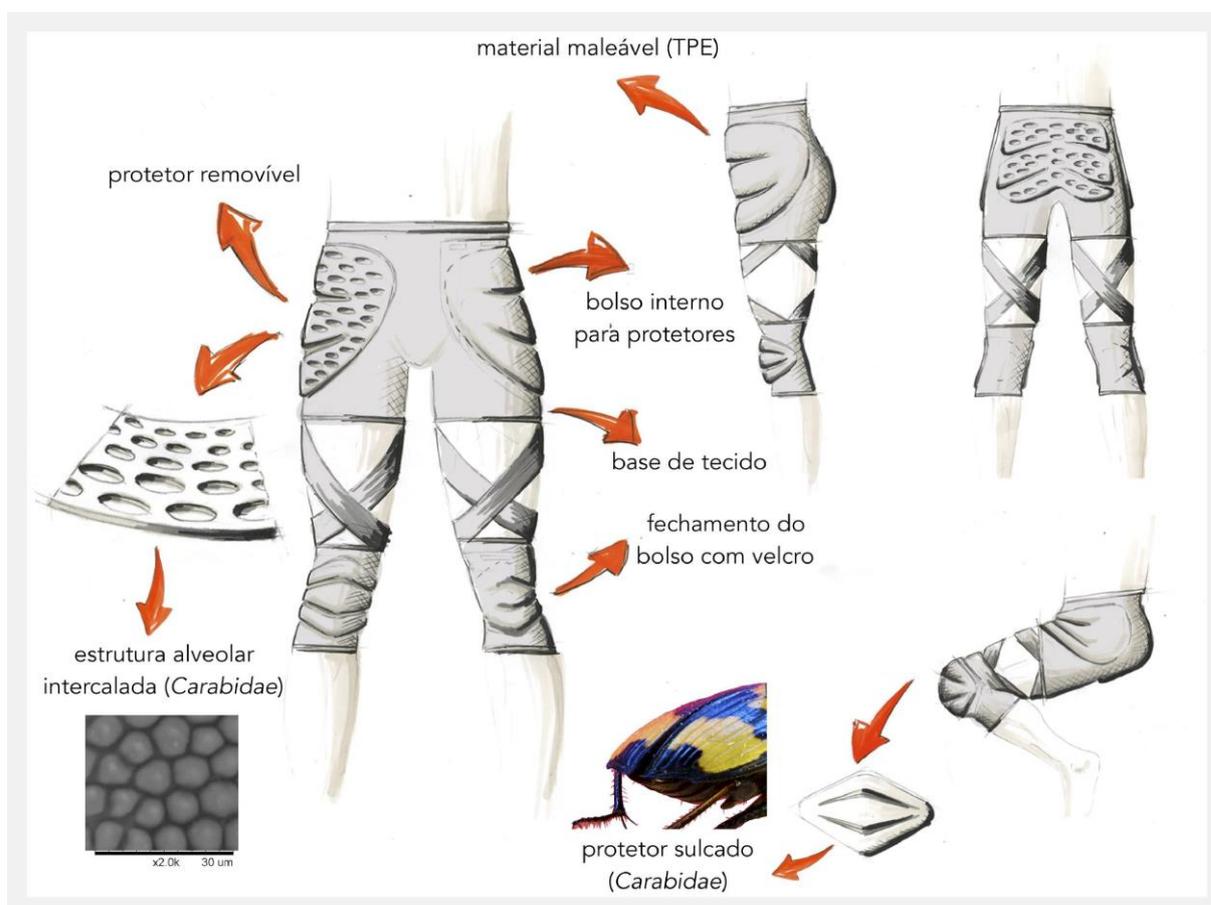


Fonte: a autora (2019).

6.3.3. Alternativa 1

A primeira alternativa pré-selecionada consiste em uma bermuda *slim fit*, com formas anatômicas e com tecido de elastano de boa respirabilidade (5000 mm/m²/24 h), que se adapta ao corpo do usuário, possibilitando melhor fixação e ajuste e proporcionando conforto. As proteções estão presentes nas áreas críticas do quadril e nos joelhos e são feitas de polímero termoplástico, como ABS, com espessura de aproximadamente 1 cm. Elas estão posicionadas no interior de bolsos internos fechados por velcro, configurando partes removíveis. Além disso, a estrutura dessas proteções é semelhante à distribuição alveolar dos élitros da amostra *Carabidae*, sendo ovaladas e posicionadas de maneira intercalada, possibilitando a transpiração e diminuindo o peso do produto. A parte de proteção do joelho consiste nos mesmos materiais da bermuda e são presas a ela por meio de duas faixas cruzadas de elástico, evitando a instabilidade do equipamento no corpo do indivíduo. Essa alternativa contém, dessa maneira, materiais diversos em sua composição, com paleta de cores em tons de cinza e, podendo ser usada como vestimenta ou com roupas por cima do equipamento (Figura 42).

Figura 42 - Alternativa 1.



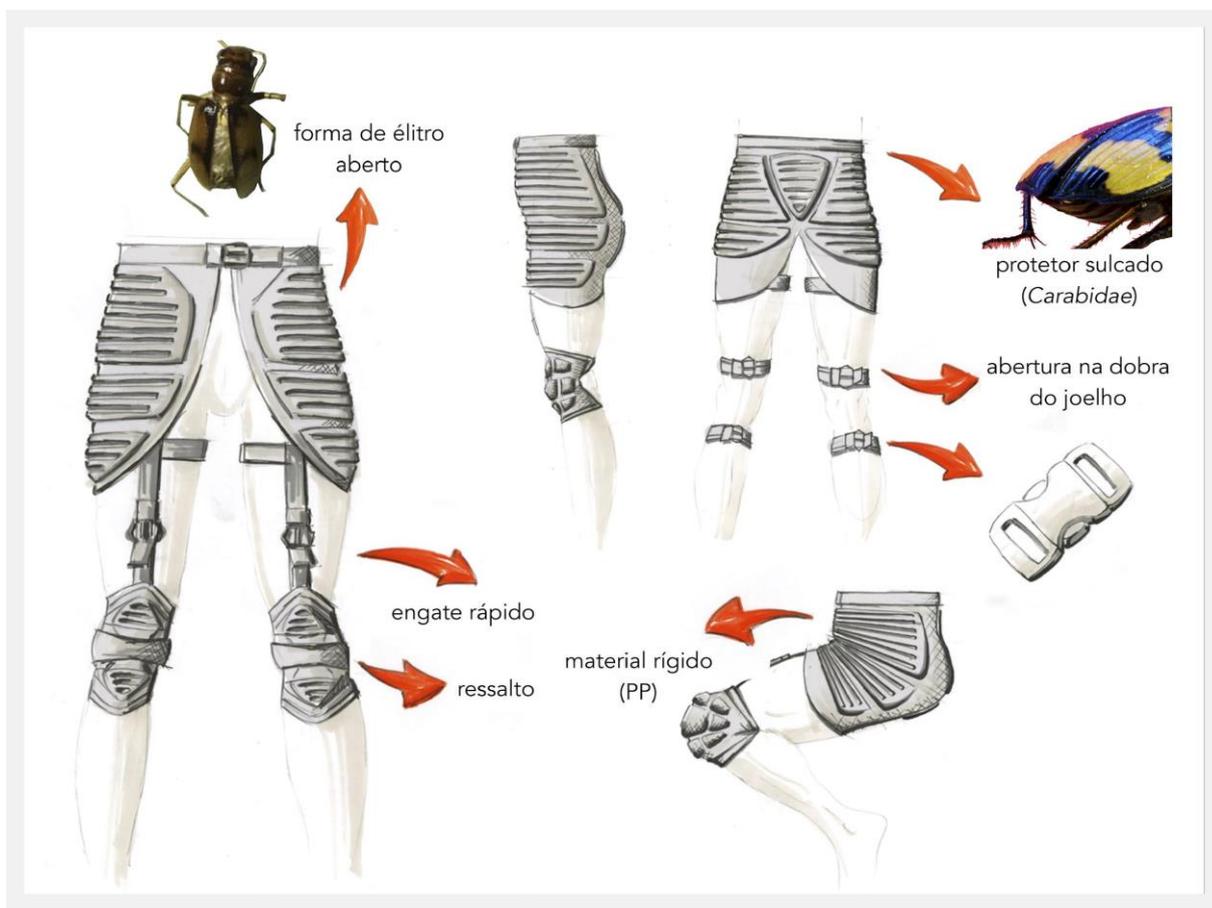
Fonte: a autora (2019).

6.3.4. Alternativa 2

A alternativa pré-selecionada 2 apresenta uma base de tecido com elastano de boa respirabilidade ($5000 \text{ mm}^2/24 \text{ h}$), com recorte que remete à forma do élitro aberto das amostras de inseto estudadas e elástico na região interna das coxas. A parte superior é presa à cintura por uma fivela com engate rápido, sendo possível regular o tamanho. O sistema de proteção está posicionado nas partes críticas do quadril e dos joelhos e é feito de material termoplástico, como PP, tendo ressalto de aproximadamente 1 cm. Essa estrutura é segmentada e constituída de nervuras semelhantes às presentes no élitro da amostra *Carabidae*, facilitando os movimentos de flexão e de extensão. A parte dos joelhos é presa à parte superior por meio de fivelas com engate rápido na parte dianteira da perna, sendo mais estável no corpo. A proteção do joelho envolve as laterais e é preso na parte traseira por fivelas com engate rápido nas partes superior e inferior. Essa configuração apresenta materiais

diversos, com cores em escala de cinza e deve ser usada por cima das roupas (Figura 43).

Figura 43 - Alternativa 2.



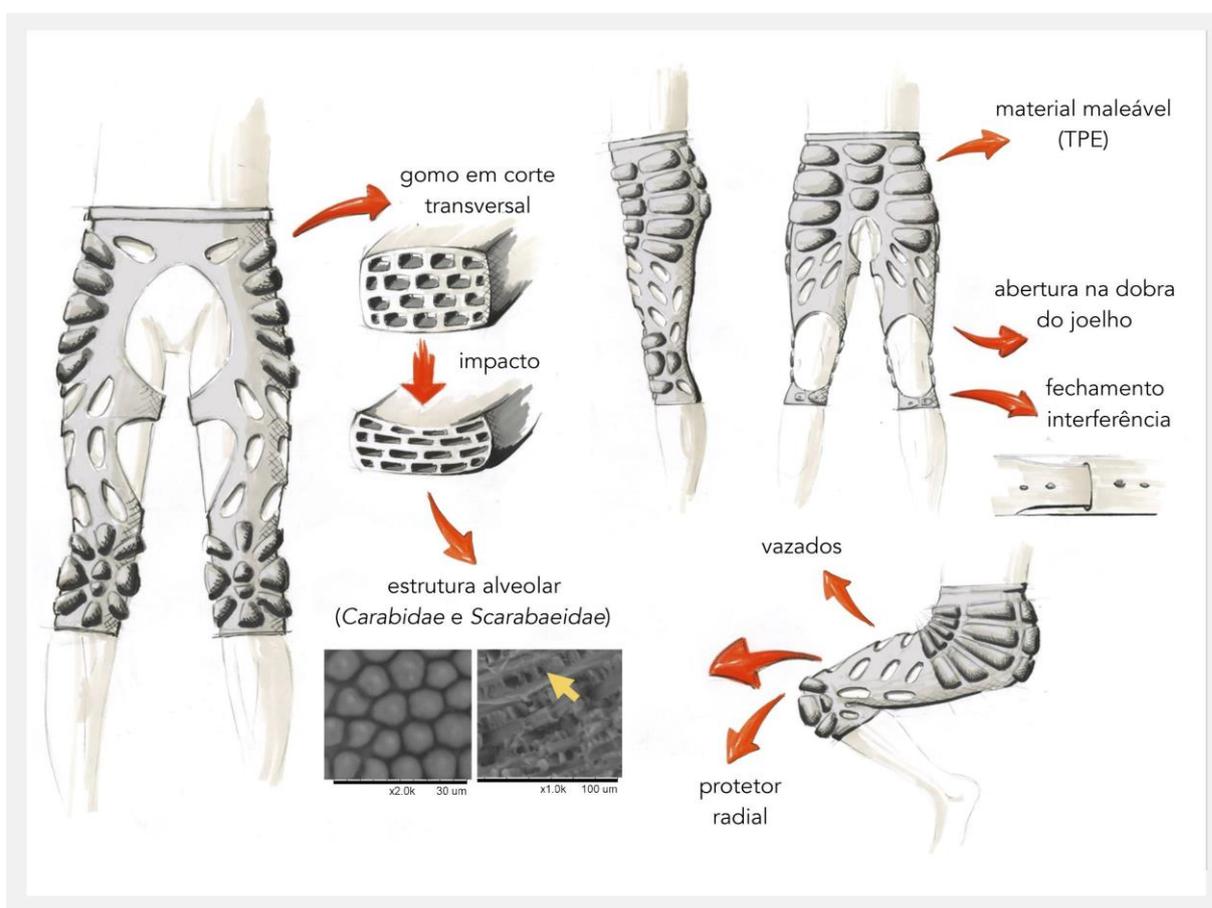
Fonte: a autora (2019).

6.3.5. Alternativa 3

Nesta opção, foi explorado o uso uma forma inteira, que abrange a região do quadril aos joelhos, tendo como base estrutural um tecido com elastano de boa respirabilidade (5000 mm/m²/24 h), com recortes orgânicos que lembram as estruturas das amostras animais e vegetais estudadas. Esses recortes existem com a finalidade de prover melhor transpiração, aumentando o conforto. O sistema de proteção é feito de material termofixo, como emborrachados de ABS, sendo fixado sobre a base por processo térmico ou por costuras. O padrão formado pelos segmentos de 1 cm de ressalto é inspirado na distribuição alveolar de algumas amostras animais e vegetais e facilita os movimentos, protegendo as regiões críticas do quadril e os joelhos. O

interior de cada gomo é constituído de alvéolos intercalados preenchidos de ar, para amortecer o impacto. A forma radial adotada para a proteção do joelho foi estudada na análise de similares com o EPI “joelheira *Street Protector*”, que se destacou entre os demais. A parte traseira do joelho é aberta para liberar os movimentos, possuindo uma fivela com engate na parte inferior, feita do mesmo material termofixo da proteção. Dessa maneira, essa alternativa apresenta uso de menos de três materiais distintos, com cores na escala de cinza, podendo ser usado sobre as roupas (Figura 44).

Figura 44 - Alternativa 3.



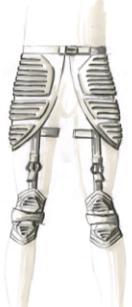
Fonte: a autora (2019).

6.3.6. Seleção da alternativa

A fim de selecionar a alternativa mais adequada, procurou-se qualificá-las de acordo com atributos considerados importantes na etapa de levantamento dos requisitos. O Quadro 16 indica os parâmetros com seus pesos conforme o seu grau de importância e a pontuação dada a cada alternativa.

Somando um total 98 pontos, alternativa C destacou-se como a opção que melhor atende aos atributos e aos requisitos do produto, sendo selecionada para posterior refinamento, detalhamento técnico e desenvolvimento como alternativa final. Comparando-se aos demais modelos, a alternativa selecionada tem menor variedade de materiais, uma vez que consiste em duas estruturas inteiras: uma de base e outra de proteção. Além disso, a alternativa é esteticamente moderna, apresentando componentes segmentados, ressaltos leves de aproximadamente 1 cm e cores neutras na escala de cinza. Ela é vestível e, por isso, oferece maior estabilidade no corpo do usuário e melhor performance nas atividades. Quanto ao sistema de proteção, a alternativa se destacou por apresentar proteção radial nos joelhos e saliências com interior alveolado, como nas amostras analisadas, oferecendo a absorção adequada do impacto e protegendo contra abrasão.

Quadro 16 - Matriz de decisão da alternativa.

	ALTERNATIVAS		
Parâmetro de avaliação (peso)	 Alternativa 1	 Alternativa 2	 Alternativa 3
Estabilidade (5)	●●●●○	●●○○○○	●●●●○
Proteção (5)	●●●○○	●●●○○	●●●●○
Conforto (5)	●●●●○	●●○○○○	●●●●●
Performance (4)	●●●○○	●●○○○○	●●●●○
Estética (3)	●●●●○	●●●○○	●●●○○
Armazenagem (2)	●●●●●	●●●●○	●●●○○
Custo (1)	●●●●○	●●●○○	●●○○○
AVALIAÇÃO GERAL	88 pontos	63 pontos	98 pontos

Fonte: a autora (2019).

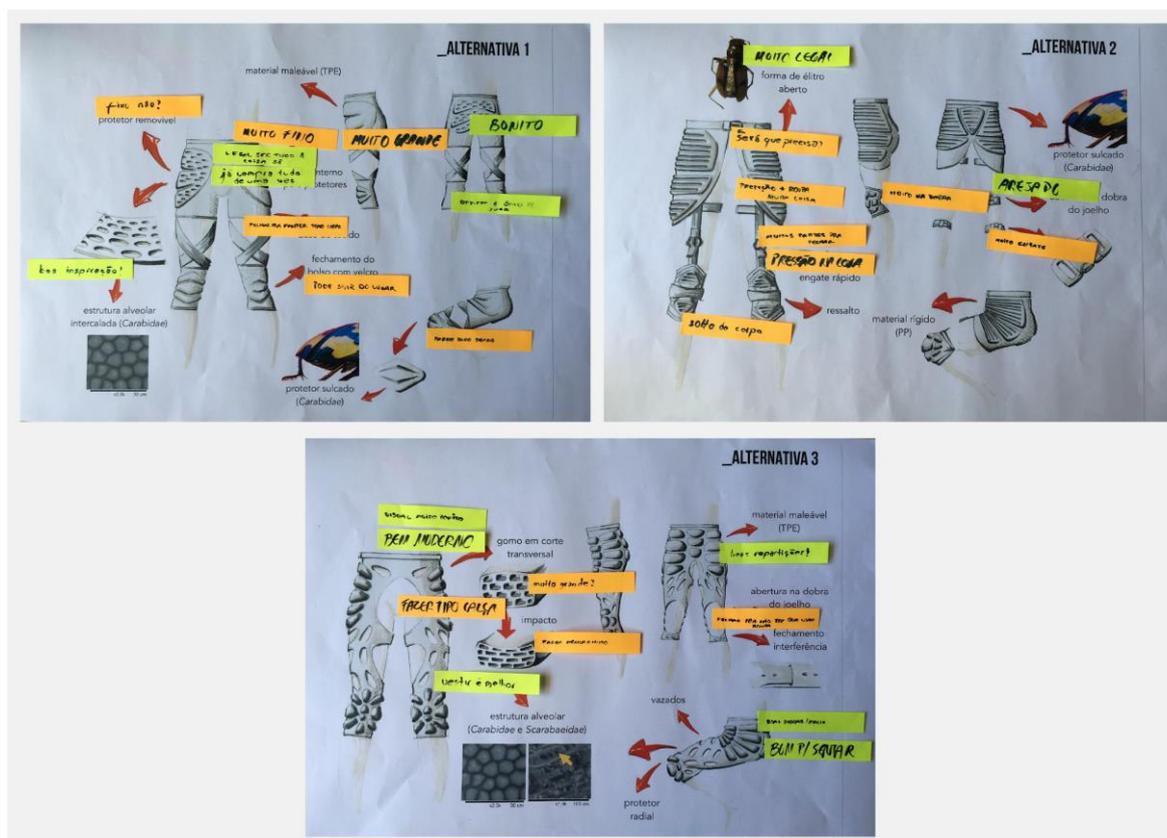
6.3.7. Grupo focal de refinamento

Após a seleção da alternativa 3, iniciou-se o processo de refinamento da proposta, a fim de identificar pontos que podem ser aprimorados. Para isso, foi realizado um grupo focal com 4 participantes que utilizam bicicleta para a prática de esportes como ciclismo de estrada e *mountain bike*.

O grupo focal foi conduzido em duas etapas. A primeira etapa consistiu em distribuir ao grupo blocos de papel adesivo e cópias em folha A3 das três alternativas

geradas. Foi solicitado que os participantes utilizassem os papéis adesivos laranjas para escrever as características do produto que os desagradam e os papéis verdes para as que os agradam, colando e indicando nos desenhos de cada alternativa esses pontos (Figura 45).

Figura 45 - Refinamento da alternativa junto ao grupo focal.



Fonte: a autora (2019).

Essa etapa teve o intuito de confirmar a seleção da alternativa feita com o uso da matriz de decisão e de distinguir os atributos que podem ser melhorados no produto. Foi possível perceber, com isso, que a alternativa 3 selecionada foi a que apresentou mais papéis verdes, correspondentes às características que agradam os participantes e menos papéis laranjas, que representam as que os desagradam.

Além disso, apareceram pontos interessantes a serem melhorados, mostrando certas características que podem ser modificadas para a maior qualidade e melhor desempenho do produto. Na alternativa 1, foram citados pontos como tornar as proteções fixas, pois podem se deslocar, fechar os recortes para manter a temperatura do corpo, tornar a proteção visualmente mais enxuta, tornar mais maleável e aumentar a largura do elástico da cintura. Para a alternativa 2, foi pontuado que existem muitas

partes e engates para serem fechados e que pode haver muita pressão e desconforto nas coxas por conta disso. Foi indicado também que a proteção é solta do corpo, sendo melhor que seja vestível, excluindo a necessidade de se usar uma roupa por baixo. As observações feitas para a alternativa 3 incluíam não utilizar recortes, de forma a não necessitar do uso de outra roupa por baixo e diminuir o tamanho dos gomos de proteção.

Quanto aos aspectos positivos indicados pelos participantes, destacaram-se a estética, a flexibilidade, a vestibilidade e a unificação das proteções em um único produto, que foram pontos observados nas alternativas 1 e 3.

A segunda etapa do grupo focal consistiu em um *brainstorming* conduzido por eventuais pontos de discussão previamente estipulados, com a finalidade de entender e de discutir aspectos que não foram contemplados e mencionados na etapa anterior. Nesse sentido, os participantes responderam ser importante o uso de uma proteção que seja resistente, porém macia, absorvendo as vibrações da bicicleta. Quanto à respirabilidade, foi salientado que o uso do *Dry Fit* é uma ótima opção, sendo de grande importância que o tecido cubra a maior extensão da perna possível, regulando a temperatura corporal, absorvendo umidade e protegendo superficialmente a pele. Além disso, foi indicado que a proteção fosse mais aerada, tendo em vista que uma placa inteiriça sobre o tecido comprometeria os efeitos de ventilação do *Dry Fit*. Os participantes sugeriram também que o comprimento da calça poderia se estender para perto da região dos tornozelos, para não haver risco de a calça subir e mover a proteção.

7. DETALHAMENTO DO PRODUTO

Neste capítulo é apresentada a descrição da solução final desenvolvida, com as suas dimensões ilustradas e detalhadas por meio de imagens 2D e de modelagens 3D realizadas com o *software* 3ds Max e renderizadas com o *plug-in* V-Ray. Além disso, esse capítulo mostra o modo de funcionamento e os elementos que compõem o produto desenvolvido, bem como os possíveis materiais e processos empregados em sua produção.

7.1. VISÃO GERAL DO SISTEMA

A execução deste projeto teve como resultado um EPI para ciclistas praticantes de esporte baseado em estruturas de elementos da natureza previamente estudados. O EPI consiste em uma malha para as pernas abrangendo praticamente toda a região dos membros inferiores, sendo vestível, anatômico e feito de material que proporciona respirabilidade ao usuário. Sobre a malha, existem protetores enxutos e discretos de material elastomérico termoplástico flexível para a absorção de impacto e para proteger as áreas críticas contra abrasões. A paleta de cores utilizada é baseada em tons neutros de preto e escala de cinza, seguindo os requisitos estéticos de discrição (Figura 46).

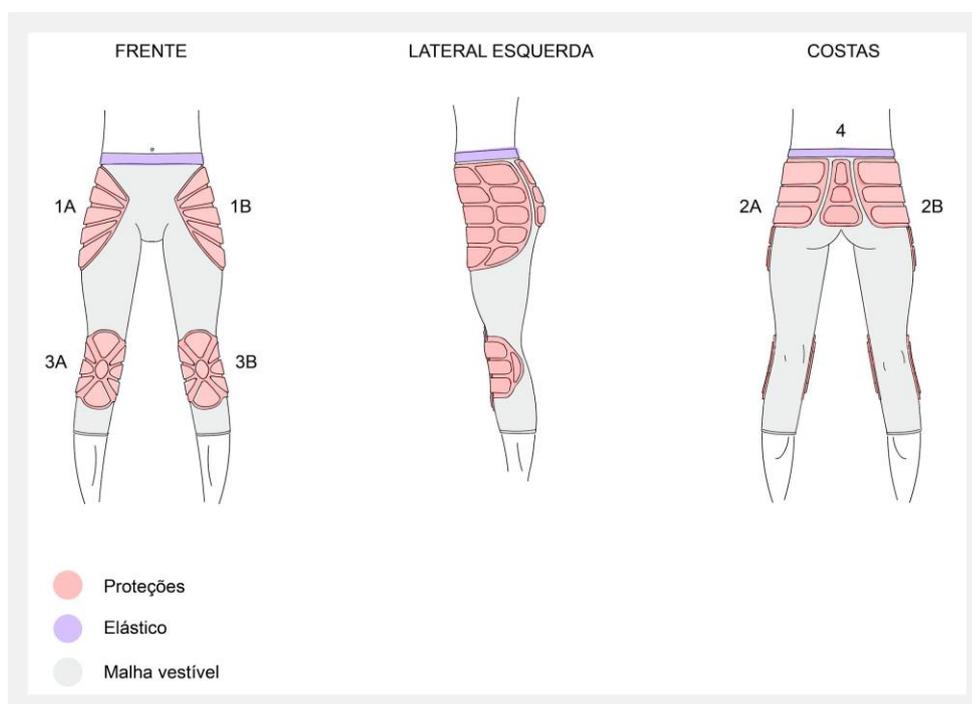
Figura 46 - Modelo 3D final desenvolvido.



Fonte: a autora (2019).

Existem sete partes individuais e quatro formatos distintos de proteção sobre a malha: as laterais do quadril (1A e 1B), as traseiras do quadril (2A e 2B), as de joelhos (3A e 3B) e a traseira (4), como mostra a Figura 47. As proteções da cintura foram projetadas de forma a remeter à forma arredondada do élitro aberto dos besouros estudados.

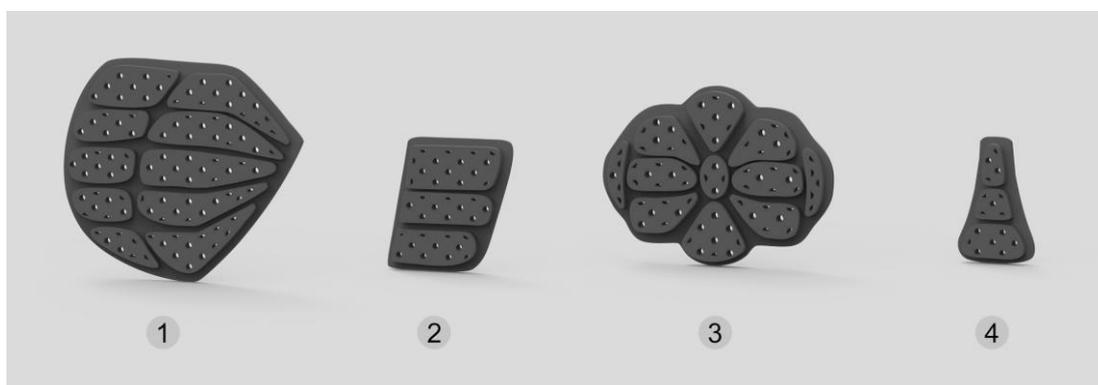
Figura 47 - Esquema representando as partes constituintes do EPI.



Fonte: a autora (2019).

As proteções permitem a ventilação, pois possuem uma estrutura alveolar porosa que permite a transpiração. Essa estrutura, utilizada para a proteção, foi encontrada no élitro da amostra de besouro *Carabidae* e foi, posteriormente, traduzida para o desenvolvimento do EPI. A maleabilidade e a liberdade de movimentos de flexão e de extensão realizados na pedalada se dá por meio dos sulcos existentes nos protetores e pela própria estrutura alveolar presente nos gomos de cada protetor (Figura 48).

Figura 48 - Protetores do EPI.



Fonte: a autora (2019).

A transpiração é facilitada pelos alvéolos na forma de perfurações, que transpassam a espessura dos protetores até encontrarem a malha, permitindo que a ventilação ocorra livremente e proporcionando maior conforto e melhor performance (Figura 49).

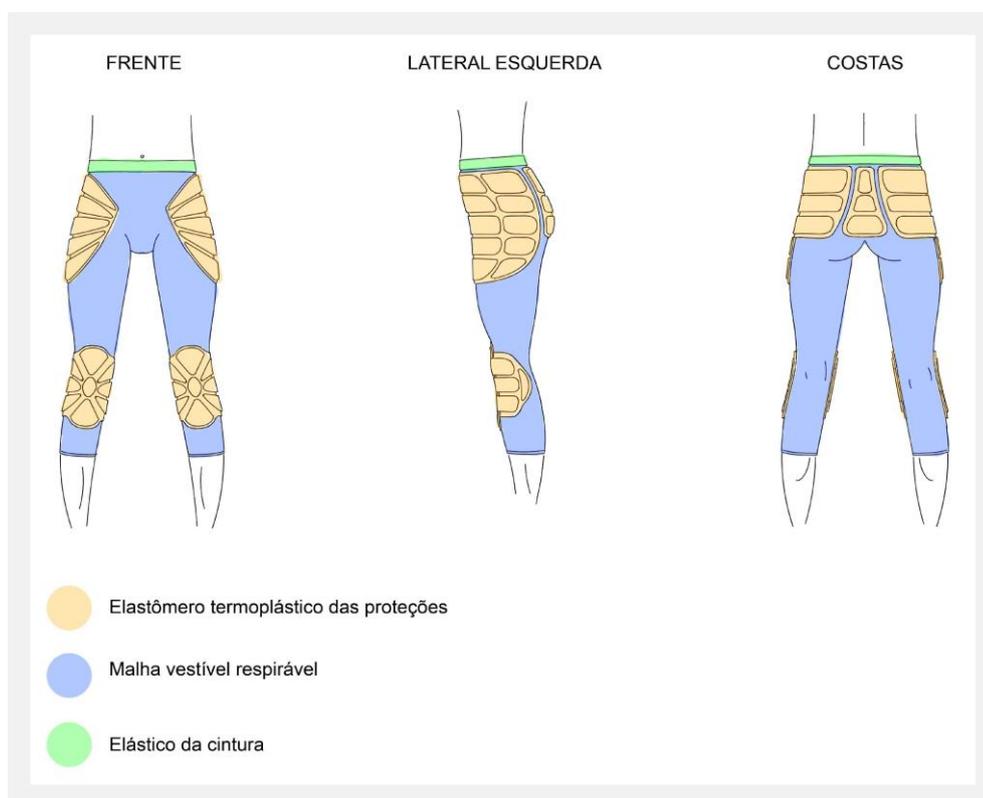
Figura 49 - Detalhe da estrutura alveolar porosa do EPI.



Fonte: a autora (2019).

O EPI possui três tipos de materiais: para proteção, para a base que constitui a malha vestível e o elástico para a cintura. Os materiais utilizados permitem que o produto possa ser higienizado em máquina de lavar roupas como as vestimentas comuns, uma vez que não utiliza materiais suscetíveis à deformações, como espumas de PU, amplamente utilizadas nos similares existentes no mercado (Figura 50).

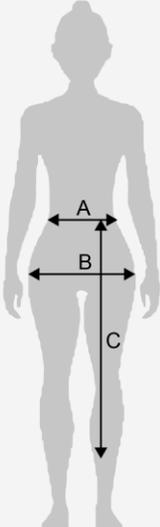
Figura 50 - Esquema representando a distribuição dos materiais do EPI.



Fonte: a autora (2019).

Em termos de dimensões, como o EPI desenvolvido pode ser categorizado como uma roupa de proteção para desporto, suas medidas gerais são dadas por grade de tamanhos para mulheres e para homens, variando entre P, P, M, G, GG e XGG. A graduação de tamanhos femininos teve como uma das bases a norma que regulamenta as medidas de padrões referenciais do corpo humano para vestuário, apresentando dimensões de base para calças (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1995). Tendo em vista que esta norma está sendo substituída, os valores utilizados foram adaptados de padronagens utilizadas no mercado hoje. As dimensões femininas do EPI estão apresentadas na Figura 51, em que é possível ver que existem tamanhos que vão do PP ao GG.

Figura 51 - Grade de tamanhos femininos do EPI.

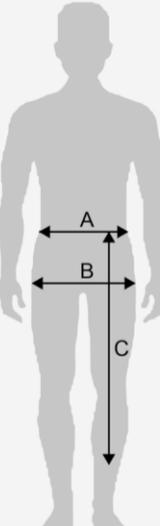


GRADE DE TAMANHOS (mulheres)			
	A Cintura (cm)	B Quadril (cm)	C Comprimento (cm)
PP	60	90	74
P	67	98	75
M	74	102	76
G	86	114	77
GG	90	118	78

Fonte: a autora (2019).

A graduação de tamanhos masculinos está dentro dos padrões da norma da ABNT, que regulamenta referências de medida do corpo humano relacionadas à vestibilidade para homens de corpo tipo normal, atlético e especial (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012). As dimensões do EPI atendem aos tipos normal e atlético e vão do tamanho P ao tamanho XGG, como é mostrado na Figura 52.

Figura 52 - Grade de tamanhos masculinos do EPI.

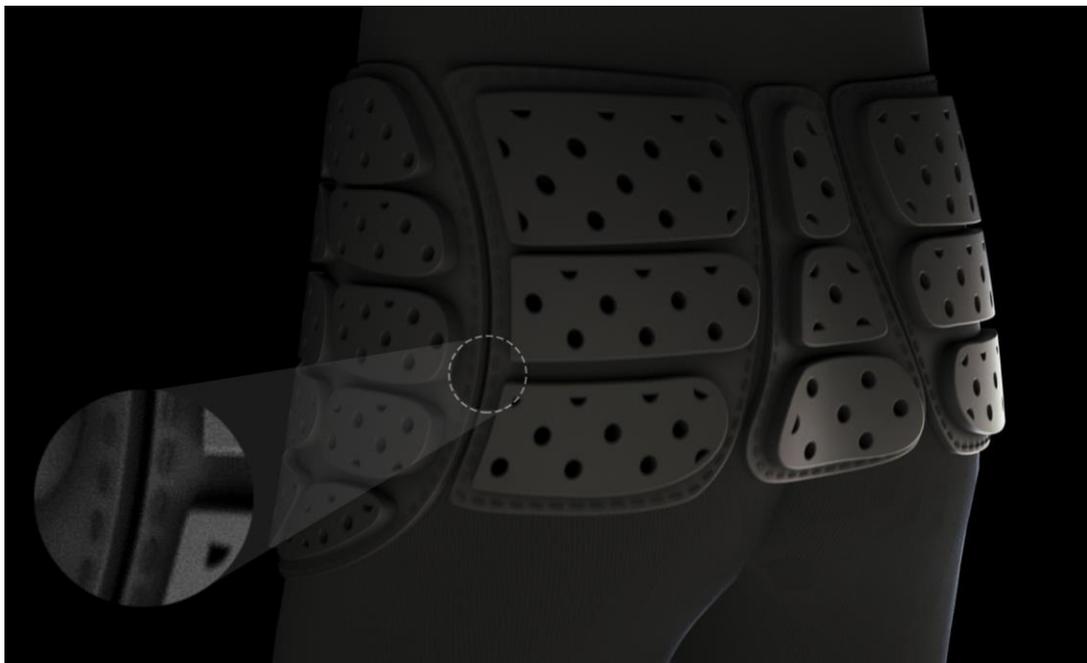


GRADE DE TAMANHOS (homens)			
	A Cintura (cm)	B Quadril (cm)	C Comprimento (cm)
P	74	91	78
M	82	99	79
G	90	107	80
GG	98	115	81
XGG	102	125	82

Fonte: a autora (2019).

A união dos elementos e o acabamento do EPI é feito por meio de costuras, que se alinham com o requisito de custo, utilizando processos de produção acessíveis (Figura 53).

Figura 53 - Detalhe da junção e do acabamento do EPI.



Fonte: a autora (2019).

Além disso, o EPI pode ser facilmente compactado, da mesma forma que uma vestimenta comum, uma vez que utiliza materiais flexíveis, maleáveis e adaptáveis aos movimentos, que podem ser dobrados sem comprometer a integridade do equipamento (Figura 54).

Figura 54 - Representação da adaptabilidade do EPI.



Fonte: a autora (2019).

7.2. MATERIAIS E PROCESSOS

Durante a seleção de materiais e de processos, buscou-se dar prioridade a materiais de alta performance, tendo em vista o público para o qual o produto foi direcionado. Além disso, o projeto do produto foi orientado de maneira a utilizar pouca variedade de materiais, facilitando a separação de seus componentes e diminuindo a quantidade de processos diferentes em sua fabricação.

A estrutura da calça é anatômica, modelada com tecido *Dry Fit*, de composição 90% poliamida, que é uma fibra sintética leve, macia, com excelente absorção de suor e de secagem rápida, e 10% elastano, um material que torna o produto mais ergonômico e mais resistente, uma vez que as fibras não se quebram como as naturais. A coloração do tecido é acinzentada próxima ao preto, cuja referência é Pantone 19-4007 TCX Anthracite. A fixação na cintura é feita por meio de um elástico liso de 3 cm de largura, composto por 92% de poliéster e 8% de elastano, na cor preta. A linha para costura é de 100% poliéster, um material sintético que garante resistência à quebra das fibras, além de ser indicado para malhas elásticas.

A malha vestível é fabricada por meio do processo automatizado de produção de vestuário, que consiste nas etapas a seguir.

a) Risco: etapa de encaixe da modelagem, definindo o aproveitamento do tecido. O risco dá origem à folha matriz, que consiste em uma folha riscada com os moldes para corte e é realizado de forma computadorizada, por meio de *softwares*.

b) Enfesto: operação em que o tecido é estendido em camadas, completamente planas e alinhadas, a fim de serem cortadas em pilhas.

c) Corte: é posicionado sobre o enfesto o risco marcador para o qual foi programado. O operador de corte guia-se pelos traços do molde registrado, realizando o corte do enfesto com uma máquina de corte.

d) Costura: nesta etapa, a malha, o elástico e as proteções são montadas e costuradas. São utilizadas máquinas industriais de costura reta e de overloque operadas por pessoas, uma vez que esta operação é complexa e, portanto, difícil de automatizar.

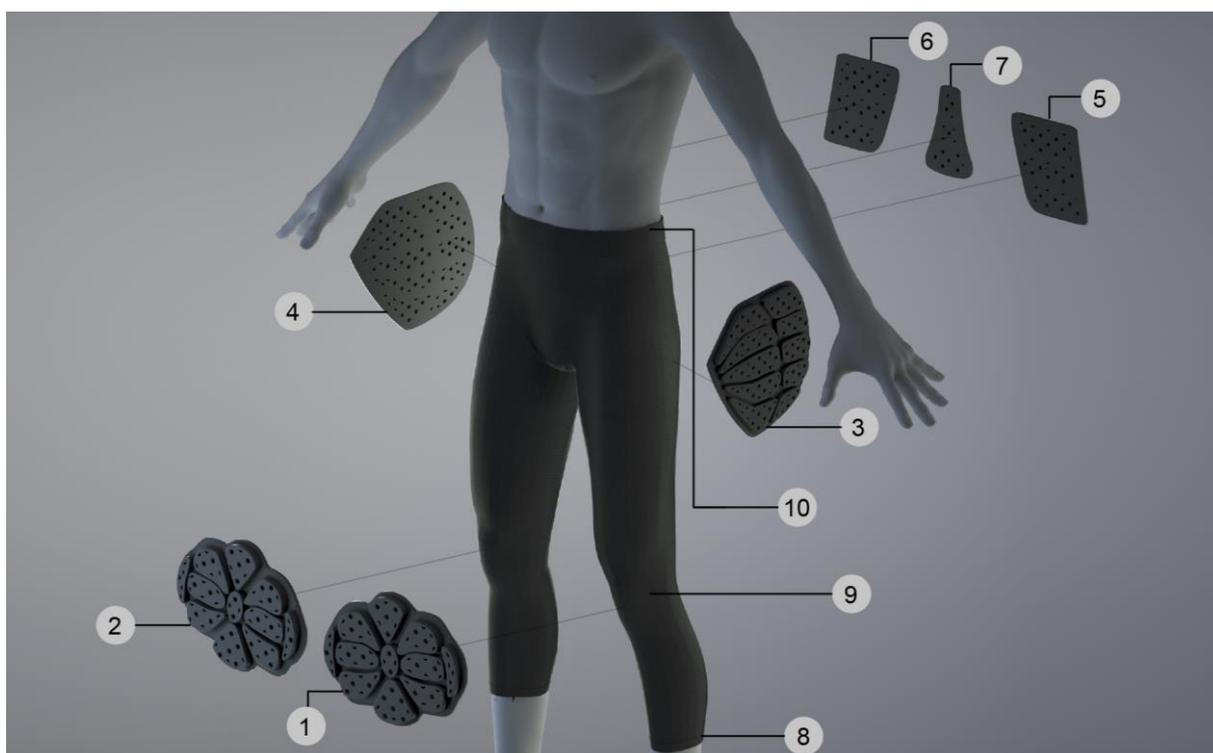
e) Acabamento: execução das operações finais, tendo em vista a melhoria na qualidade ou complementação do produto. Dentre essas operações está a costura de etiquetas.

Os protetores consistem em sete partes distintas: o protetor de quadril lateral esquerdo, o protetor traseiro esquerdo, o protetor de joelho esquerdo, o protetor de quadril lateral direito, o protetor traseiro direito, o protetor de joelho direito e o protetor de cóccix. Estas proteções são feitas de TPE-A, um termoplástico elástico de poliéter-poliâmida, também conhecido pela sigla PEBA. É um material leve, de elevada flexibilidade e tenacidade, com ótimas propriedades de resistência a impacto (inclusive a baixas temperaturas), boa inércia química, elevada resistência mecânica e grande durabilidade. Além disso, é fácil de processar, de colorir e de sobremoldar, permitindo a realização de aplicações exigentes com liberdade de design. O PEBA é amplamente utilizado no setor desportivo, por suas propriedades flexíveis.

Os termoplásticos elásticos podem ser moldados por injeção e os equipamentos e as técnicas usualmente empregadas para a moldagem por injeção de termoplásticos são adequados para a maioria dos TPEs. Para a fabricação das proteções de PEBA, será adotado o processo de injeção de termoplásticos, que se inicia com grânulos de plástico que são fundidos (plastificados) dentro do cilindro da injetora, sendo injetados nos moldes. Após esta etapa, as proteções são resfriadas e extraídas dos moldes, finalizando o ciclo. Para tanto, são necessários sete moldes,

um para cada formato de proteção. O processo de produção utilizado para a fabricação oferece precisão, rapidez, baixo custo operacional e ótimo acabamento, além ser um processo amplamente utilizado, configurando uma tecnologia acessível. A Figura 55 a seguir apresenta os componentes do EPI em vista explodida.

Figura 55 - Vista explodida do EPI.



Fonte: a autora (2019).

O quadro a seguir mostra a relação de partes componentes do EPI, bem como suas quantidades e os materiais empregados para a sua fabricação (Quadro 17).

Quadro 17 - Descrição dos componentes do EPI.

Nº	Descrição	Material	Quantidade
1	protetor joelho esquerdo	PEBA	1
2	protetor joelho direito	PEBA	1
3	protetor quadril lateral esquerdo	PEBA	1
4	protetor quadril lateral direito	PEBA	1
5	protetor traseiro esquerdo	PEBA	1
6	protetor traseiro direito	PEBA	1
7	protetor cóccix	PEBA	1
8	costuras de fixação e de acabamento	linha 100% poliéster	-
9	malha vestível	<i>Dry Fit</i> (90% poliamida e 10% elastano)	1
10	elástico de fixação da cintura	elástico liso (92% poliéster e 8% elastano)	1

Fonte: a autora (2019).

Os desenhos técnicos da montagem geral e das estruturas principais que compõem o EPI para ciclistas desenvolvido estão apresentadas no Apêndice 5. Pode-se perceber que as dimensões do produto desenvolvido no desenho seguem o tamanho M masculino, uma vez que estas são as dimensões usadas no processo de confecção do molde na indústria de vestuário para homens, graduando-se os demais tamanhos a partir deste.

7.3. MODELO FÍSICO

Após a validação conceitual com o grupo focal de ciclistas esportistas e da concepção da modelagem e das demais etapas de criação do produto, desenvolveu-se um modelo físico não funcional do equipamento de proteção para a região das pernas. O modelo buscou apresentar, principalmente, a geometria das proteções, bem como a simulação de algumas características de textura e de elasticidade com a utilização do filamento flexível de TPU. A confecção das proteções do modelo foi realizada em escala 1:0,8 por meio de impressão 3D. Dessa forma, é possível compreender melhor as proporções do produto, bem como sua estrutura e seu comportamento relacionado à maleabilidade e à adaptabilidade (Figura 56).

Figura 56 - Modelo físico das proteções do EPI.



Fonte: a autora (2019).

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso da bicicleta está ascendendo em um ritmo acelerado no Brasil e no mundo, seja para deslocamento e lazer, seja para esporte e esse crescimento indica que as frotas de ciclistas estão cada vez mais presentes nos meios. A alta aderência ao uso deste tipo de equipamento, contudo, tem aumentado a ocorrência de acidentes envolvendo usuários de veículos de duas rodas, cujas principais vítimas são os ciclistas, traumatizados principalmente na região das pernas. Algumas das causas destes acidentes consistem na baixa adesão dos ciclistas a EPIs e na inadequação de determinados aspectos de EPIs existentes no mercado.

Tendo em vista que os acidentes ocorrem, em sua maioria, por queda e impacto brusco, acompanhados de abrasões, procurou-se estudar neste projeto elementos que oferecem estruturas protetoras sob condições de impacto. Dessa maneira, foram estudadas amostras naturais, uma vez que a natureza, há milhões de anos, desenvolve as melhores características com potencial análogo para solucionar problemas de projeto de produto. O estudo da biônica possibilita atentar-se a detalhes e a mecanismos da natureza - com a ajuda de recursos como macrofotografias e microscopia - em um processo análogo que permite ao designer identificar soluções de projeto. As amostras revelaram aspectos muito importantes quanto ao mecanismo dos élitros dos besouros e de algumas cascas vegetais, apresentando uma estrutura alveolar que é a base da proteção contra impacto dessas amostras e que foi usada como princípio estrutural essencial para o produto.

O equipamento de proteção individual para ciclistas desenvolvido durante este trabalho de conclusão de curso buscou atender ao público esportista, que foi identificado como sendo um dos usuários do projeto. A partir disso, prezou-se integrar o público no desenvolvimento do produto a fim de contemplar aspectos como a boa performance e o conforto durante as práticas de esporte com bicicleta e, principalmente, proteger os usuários contra impactos e abrasões. Para tanto, foi realizada uma validação da proposta com um grupo focal de usuários dentro do perfil esportista, que contribuiu para que o EPI fosse desenvolvido na sua forma final. O modelo de EPI trouxe formas mais reduzidas e enxutas, bem como cores discretas em tons de cinza e preto, a fim de satisfazer as necessidades estéticas do usuário e aumentar a adesão a proteções adequadas.

O uso de tecnologias acessíveis de produção, como a injeção e o ciclo de fabricação padrão de vestuário, são importantes para otimizar o custo do EPI desenvolvido neste projeto, bem como o uso de poucos tipos de materiais em sua composição. Optou-se por priorizar a utilização de materiais de alta performance, como o *Dry Fit* e o PEBA, amplamente utilizados na confecção de artigos desportivos, aumentando o conforto e facilitando a higienização.

Tendo em vista que o produto foi desenvolvido para um público que necessita de boa performance, entende-se que é possível, a partir do modelo desenvolvido, fazer adaptações de forma a criar versões mais acessíveis e simplificadas para atender aos outros dois públicos de forma ainda mais adequada. Propõe-se, dessa forma, como sugestão para futuros trabalhos.

O presente projeto foi realizado até a última etapa da abordagem metodológica proposta no trabalho, com detalhamentos técnicos, modelagem 3D e modelo físico (não funcional). Para uma possível implementação do produto, etapas de testes mecânicos e validação de usabilidade do produto são necessárias, podendo, ao fim, ser desenvolvido industrialmente.

REFERÊNCIAS

AMARAL, E.; GUANABARA, A.; KINDLEIN JR., W. Sistema de Fixação Baseados na Biônica e no Design de Produto: Estudo de caso “Velcro” a partir do Fruto do Carrapicho. **Revista Estudos em Design**, v. 10, n.1, 2002.

ASHBY, M. F.; JOHNSON, K. **Materiais e design: arte e ciência na seleção de materiais em projeto de produto**. 2 ed. Rio de Janeiro: CAMPUS, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13377: Medidas do corpo humano para vestuário - Padrões referenciais**. Rio de Janeiro, p. 3. 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16060: Vestuário - Referenciais de medidas do corpo humano - Vestibilidade para homens corpo tipo normal, atlético e especial**. Rio de Janeiro, p. 25. 2012.

ASSOCIAÇÃO TRANSPORTE ATIVO. **Transporte Ativo: Por um Futuro mais Limpo e um Trânsito mais Seguro!** Disponível em: <http://transporteativo.org.br/ta/?page_id=73>. Acesso em: 28 ago. 2018.

BACK, N.; OGLIARI, A.; DIAS, A.; SILVA, J. C. **Projeto Integrado de Produtos: planejamento, concepção e modelagem**. Barueri: Manole, 2013.

BANISTER, D. **Transport and urban Development**. Londres: E & FN Spon, 1995.

BAXTER, M. **Projeto de produto: guia prático para o design de novos produtos**. São Paulo: Blucher, 2011.

BENYUS, J. M. **Biomimética: inovação inspirada pela natureza**. São Paulo: Cultrix, 2012.

BERTHIER, S. **Iridescences: The Physical Colors of Insects**. Paris: Springer, 2007.

BIKE Fit. **Kardinya Physiotherapy**. 2019. Disponível em: <<https://www.kardinyaphysiotherapy.com.au/bike-fit/>>. Acesso em: 03 abr. 2019.

BIRUEL, R. P.; AGUIAR, I. B.; PAULA, R. C. Germinação de sementes de pau-ferro submetidas a diferentes condições de armazenamento, esscarificação química, temperatura e luz. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 29, p. 151-159, 2007.

BOARETO, R. **A Bicicleta e as Cidades**: como inserir a bicicleta na política de mobilidade urbana. 2 ed. p. 83. São Paulo: Instituto de Energia e Meio Ambiente - IEMA, 2010.

BRASIL. Ministério do Esporte. **Diagnóstico Nacional do Esporte (DIESPORTE)**. Brasília, DF, 2015.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Transporte e da Mobilidade Humana. **Programa Bicicleta Brasil. Programa Brasileiro de Mobilidade por Bicicleta**. Brasília, DF, 2007.

CAMERON, M. H.; VULCAN, A. P.; FINCH, C. F.; NEWSTEAD, S. V. Mandatory bicycle helmet use following a decade of helmet promotion in Victoria, Australia - an evaluation. **Accident Analysis & Prevention**, v. 26, n. 3, p. 325-37, 1994.

CAMPOS, V. B. G. Uma visão da mobilidade urbana sustentável. **Cetrama** (UFBA), v. 3, p. 26-30, 2007.

CARDOSO, M. M. **A responsabilidade e a conscientização do uso do EPI (Equipamento de Proteção Individual) no ambiente do trabalho**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Direito) - Fundação Educacional do Município de Assis, São Paulo.

CHEONG, H.; CHIU, I.; SHU, L. H. **Extraction and transfer of biological analogies for creative concept generation**. International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference (IDETC/CIE). 2010.

CIDADE, M. K.; PALOMBINI, F. L.; KINDLEIN JR., W. Biônica como processo criativo: microestrutura do bambu como metáfora gráfica no design de joias contemporâneas. **Educação gráfica**, Bauru, v. 19, n. 1, p. 91-103, 2015.

COOPER, A. **The inmates are running the asylum**: why high-tech products drive us crazy and how to restore the sanity. 1 ed. Indianápolis: Sams Publishing, 2004.
DUARTE, R. M. Entrevistas em pesquisas qualitativas. **Educar em Revista**, v. 24, p. 213-226, 2004.

DUARTE, V.; ORTIZ, E. R. N. **Podridão de Phytophthora da amêndoa e casca da Nogueira pecan.** In: Luz, E. D. M. N., Santos, A. F., Matsuoka, K., Bezerra, J. L. Doenças causadas por Phytophthora no Brasil. Campinas: Livraria Editora Rural, 2001. p. 493-508.

FREITAS, R. F.; WAECHTER, H. N.; COUTINHO, S. G.; BECK, F. A.; GUBERT, F. A. Contribuição do Grupo Focal à pesquisa e ao processo de design da informação: percepção dos usuários sobre artefatos impressos de DST/Aids. **Estudos em Design**, v. 24, p. 88-103, 2016.

GARCIA, L. P.; SANTANA, L. R.; DUARTE, E. C. **Mortalidade de ciclistas no Brasil: características e tendências no período 2000-2010.** In: IX Congresso Brasileiro de Epidemiologia, 2014, Vitória. Anais do IX Congresso Brasileiro de Epidemiologia, 2014.

GONÇALVES, R. M.; PETROIANU, A.; JÚNIOR, J. R. F. Características das pessoas envolvidas em acidentes com veículos de duas rodas. **Revista Saúde Pública**, v. 31, n. 4, p. 436-437, 1997.

GRAITCER, P. L., KELLERMAN, A. L., CHRISTOFFEL, T. A. A review of educational and legislative strategies to promote bicycle helmets. **Injury Prevention**, p. 122-129, 1995.

GUANABARA, A. S.; BRAUM, A.; KINDLEIN JR., W. **Estudos da Melhoria da Sustentabilidade de Projeto de Novos Produtos baseados na Biônica.** I Encontro da ANPPAS - Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade, 2002, Indaiatuba. ANPPAS, 2002.

HARRISON, A.; JONG, D. O. Exploring the use of multiple analogical models when teaching and learning chemical equilibrium. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 42, n. 10, p. 1135-1159, 2005.

KASHANINEJAD, M.; MORTAZAVI, A.; SAFEKORDI, A.; TABIL, L. G. Some physical properties of Pistachio (*Pistacia vera*L.) nut and its kernel. **Journal of Food Engineering**, v. 72, n. 1, p. 30-38, 2006.

KINDLEIN JR., W.; GUANABARA, A. S.; SILVA, E. A.; PLATCHECK, E. R. **Proposta de uma Metodologia para o Desenvolvimento de Produtos Baseados no Estudo da Biônica.** P&D Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design. Brasília, 2002.

KOCH, K.; BHUSHANB, B.; BARTHLOTT, W. Diversity of Structure, Morphology and Wetting of Plant Surfaces. **Soft Matter**, v. 10, n. 4, p. 1943-1963, 2008.

MAKI, T; KAJZER, J.; MIZUNO, K.; SEKINE, Y. Comparative analysis of vehicle–bicyclist and vehicle–pedestrian accidents in Japan. **Accident Analysis & Prevention**, v. 35, n. 6, p. 927-940, 2003.

MARTINS, D. S.; HARKOT, M. K. Capacete de Bicicleta: o mito da segurança. **Revista dos Transportes Públicos**, v. 144, p. 31-40, 2016.

MIRALLES, M.; GIULIANO, G. Biónica: eficácia versus eficiência en la tecnología natural y artificial. **Scientiæ Zudia**, São Paulo, v. 6, n. 3, p. 359-69, 2008.

NETTER, F. H. **Atlas de Anatomia Humana**. 5 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

NICKEL, E. M.; FERREIRA, M. G. G.; FORCELLINI, F. A.; SANTOS, C. T.; SILVA, R. A. A. Modelo multicritério para referência na fase de projeto informacional do processo de desenvolvimento de produtos. **Gestão e Produção**, v. 17, n. 4, p. 707-720, 2010.

PAZMINO, A. V. **Como se cria: 40 métodos para design de produtos**. São Paulo: Blucher, 2015.

PEVELER, W. W.; POUNDERS, J. D.; BISHOP, P. A. Effects of saddle height on anaerobic power production in cycling. **Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association**, Colorado, v. 21, n. 4, p. 1023-1027, 2007.

PLATCHECK, R. E. **Design Industrial: Metodologia de ecodesign para o desenvolvimento de produtos sustentáveis**. São Paulo: Atlas, 2012.

PLENTZ, S.I S. Taxonomia para técnicas criativas aplicadas ao processo de projeto. 2011. 130 p. Dissertação (Mestre em Design) - Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

QUARESMA, S. J. L.; BONI, V. **Aprendendo a entrevistar: como fazer entrevistas em Ciências Sociais.** Em Tese, v. 3, p. 68-80, 2005.

RAMOS, J. **A Biônica aplicada ao projeto de produtos.** 1993. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

RODRIGUES, C. L.; ARMOND, J. E.; GORIOS, C.; SOUZA, P. C. Acidentes que envolvem motociclistas e ciclistas no município de São Paulo: caracterização e tendências. **Revista Brasileira de Ortopedia**, v. 49, p. 602-606, 2014.

ROSA-OSMAN, S. M., RODRIGUES, R.; MENDONÇA, M. S.; SOUZA, L. A.; PIEDADE, M. T. F. **Morfologia da flor, fruto e plântula de *Victoria amazonica* (Poepp.) J.C. Sowerby (Nymphaeaceae).** Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Manaus, 2011.

RUBIM, B.; LEITÃO, S. O plano de mobilidade urbana e o futuro das cidades. **Estudos Avançados**, v. 27, n. 79, 2013.

SALVADOR, R. J. **Metodologia Biônica em Dobradiça de Móveis.** 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio grande do Sul, Porto Alegre.

SEAGO, A. E.; BRADY, P.; VIGNERON, J. P.; SCHULTZ, T. D. 2009. **Gold bugs and beyond: a review of iridescence and structural colour mechanisms in beetles (Coleoptera).** Journal of the Royal Society, 2008.

SOARES, M. A. R. **Biomimetismo e Ecodesign. Desenvolvimento de uma ferramenta criativa de apoio ao design de produtos sustentáveis.** 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.

THOMPSON, M. J.; RIVARA, F. P. **Bicycle-Related Injuries.** University of Washington School of Medicine, Seattle, Washington. American Family Physician, v. 63, n. 10, 2001.

TRILHA JR., M.; ROESLER, R.; FANCELLO, E. A.; MORE, A. D. O. Simulação numérica tridimensional da mecânica do joelho humano. **Acta Ortopédica Brasileira**, v. 17, p. 18-23, 2009.

VANDEN BROECK, F. **Biodesign. Uma Filosofia de Projeção.** Tradução Dr. Amilton José Vieira de Arruda, Recife, Textos para Cadernos de Biodesign – Produção Laboratório de Biodesign, UFPE, 1995.

VASCONCELOS, A. C. **Estruturas da Natureza:** Um Estudo da Interface entre Biologia e Engenharia. São Paulo: Studio Nobel, 2000.

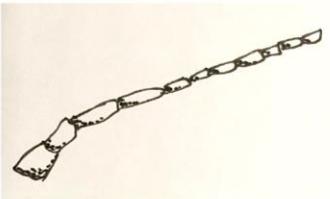
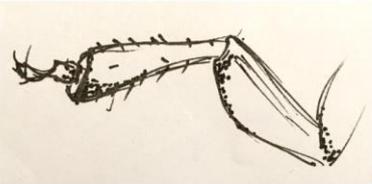
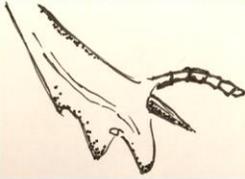
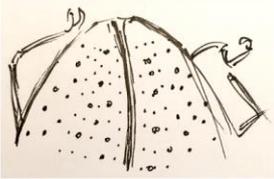
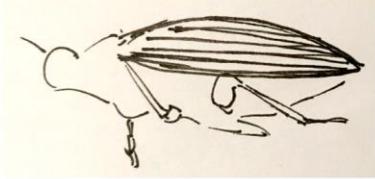
VATTAM, S. S.; HELMS, M. E.; GOEL, A. K. **Compound Analogical Design:** Interaction between Problem Decomposition and Analogical Transfer in Biologically Inspired Design. Berlim: Springer Science + Business Media, 2008.

VINCENT, J. F. V.; BOGATYREVA, O. A.; BOGATYREV, N. R.; BOWYER, A.; PAHL, A. K. Biomimetics - its practice and theory. **Journal of the Royal Society Interface**, 2006.

ZARI, M. P. **Biomimetic Approaches To Architectural Design For Increased Sustainability.** Victoria University - School of Architecture. Wellington, New Zealand, 2007.

APÉNDICE

Apêndice 1 - Quadro de imagens e de croquis dos elementos naturais observados.

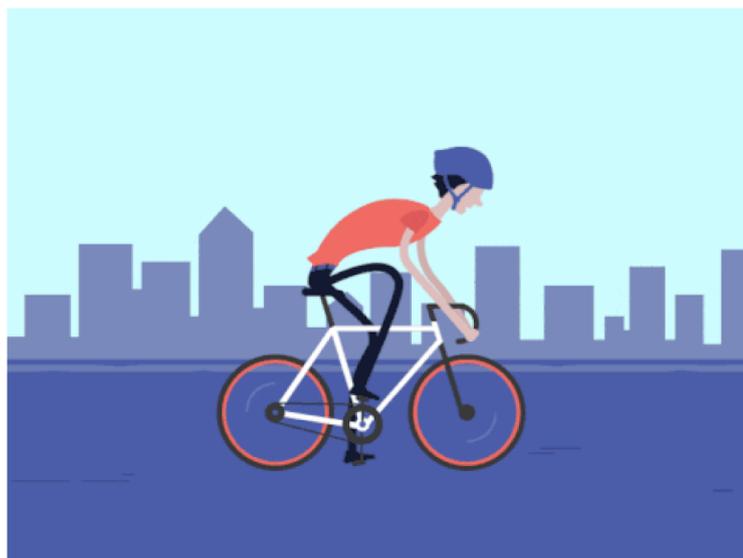
Imagem	Croqui
	 antena da amostra da família <i>Carabidae</i>
	 perna dianteira da amostra da família <i>Scarabaeidae</i>
	 perna fossorial da amostra da família <i>Scarabaeidae</i>
	 textura do élitro da amostra da família <i>Chrysomelidae</i>
	 encaixe da perna da amostra da família <i>Carabidae</i>
	 élitro achatado da amostra da família <i>Carabidae</i>
	 casca da amostra de noz pecan

Apêndice 2 - Questionário.

Uso de equipamento de proteção individual para usuários de bicicleta

Oi! Esse formulário é voltado para usuários de bicicleta e é parte do desenvolvimento do meu TCC para o curso de Design de Produto. Ao responder ele, você vai estar me ajudando a pensar em uma nova ou otimizada concepção de equipamento proteção individual (EPI) para práticas como esporte urbano, lazer e transporte ativo (por propulsão humana) com foco no uso de bicicleta. Vamos lá?

*Obrigatório



Me conte sobre você

Antes de perguntar coisas mais específicas, gostaria de saber algumas informações suas. Pode ser?

1. **Quantos anos você tem? ***

(Use apenas numerais. Ex.: 19)

2. **Sua identidade de gênero é: ***

Marcar apenas uma oval.

- Mulher (Cis ou Trans)
- Homem (Cis ou Trans)
- Gênero não-binário
- Não me identifico com nenhuma das opções anteriores
- Prefiro não responder

Sobre o uso de bicicleta

Agora, gostaria de saber mais sobre sua relação com o uso da bicicleta.

3. Com que frequência você utiliza bicicleta? *

Marcar apenas uma oval.

- Utilizo raramente
- De 1 a 2 dias por semana
- De 3 a 4 dias por semana
- De 5 a 7 dias por semana

4. Para qual atividade você mais utiliza a bicicleta? *

Marcar apenas uma oval.

- Para locomoção
- Para prática de esporte urbano
- Para lazer
- Outro: _____

5. Você já se feriu em algum desses locais do corpo andando de bicicleta? *

Marque todas que se aplicam.

- Braços
- Pernas
- Face
- Cabeça
- Coluna
- Nunca me feri usando bicicleta
- Outro: _____

Sobre o uso de EPIs

Nesta parte, gostaria de saber mais sobre sua relação com o uso de equipamentos de proteção individual (EPIs) em seus trajetos de bicicleta.

6. Que tipos de EPIs você costuma usar em seus trajetos de bicicleta? *

Marque todas que se aplicam.

- Capacete
- Joelheira
- Cotoveleira
- Não utilizo
- Outro: _____

Sobre o uso de EPIs

Nesta etapa, a intenção é verificar qual o grau de satisfação que você atribui a cada um dos seguintes fatores relacionados ao uso de EPIs disponíveis para usuários de bicicleta, como capacetes, joelheiras e cotoveleiras, por exemplo.

Apêndice 3 - Quadro geral de similares.

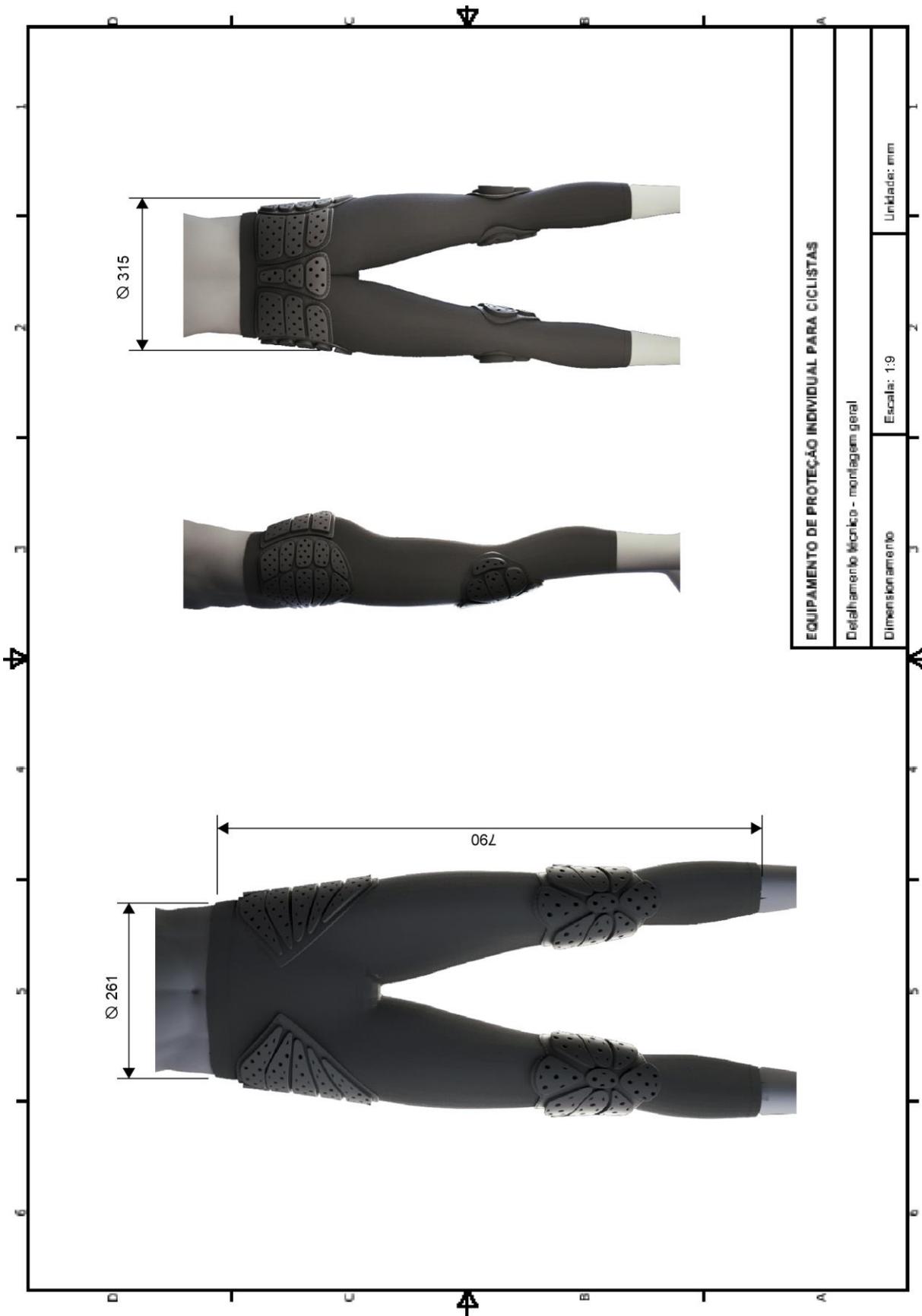
Similares	Classificação etária	Nacionalidade	Tipo de proteção	Região de proteção	Mercado
 <p>joelheira Nautika Hit Tático</p>	adulto	nacional	contra impacto e abrasão	joelhos	R\$ 86,90
 <p>joelheira Oxelo</p>	infantil	internacional	contra impacto e abrasão	joelhos	R\$ 99,99
 <p>joelheira tática Blackhawk V.2</p>	adulto	internacional	contra impacto e abrasão	joelhos	R\$ 116,23
 <p>joelheira infantil basic Oxelo</p>	infantil	internacional	contra impacto e abrasão	joelhos	R\$ 89,99
 <p>joelheira ajustável Redstar</p>	adulto	internacional	contra troções	joelhos	R\$ 19,04
 <p>joelheira Street Protector</p>	adulto	nacional	contra impacto	joelhos	R\$ 85,50
 <p>joelheira vôlei V300 KIPSTA</p>	infantil e adulto	internacional	contra impacto	joelhos	R\$ 49,90
 <p>protetor de quadril KuFun</p>	adulto	internacional	contra impacto	quadril e coxas	R\$ 117,95
 <p>protetor de quadril Niggli Pads</p>	adulto	nacional	contra impacto	quadril	R\$ 139,90

 <p>protetor de quadril Znadona Esatech Pro</p>	adulto	internacional	contra impacto	quadril e coxas	R\$ 280,95
 <p>protetor de quadril Asw Image Plastic</p>	adulto	nacional	contra impacto e abrasão	quadril e coxas	R\$ 89,90
 <p>calça goleiro Poker profissional</p>	adulto	internacional	contra impacto	pernas	R\$ 170,57
 <p>calça moto Ls2 Chart Imperm</p>	adulto	internacional	contra abrasão	pernas	R\$ 555,46
 <p>caneleira muay thai e Kick-boxing pro Domyos</p>	adulto	internacional	contra impacto	canelas e tornozelo	R\$ 199,99
 <p>caneleira de futebol com tornozeleira Penalty Matis VIII</p>	adulto	nacional	contra impacto	canelas	R\$ 44,99

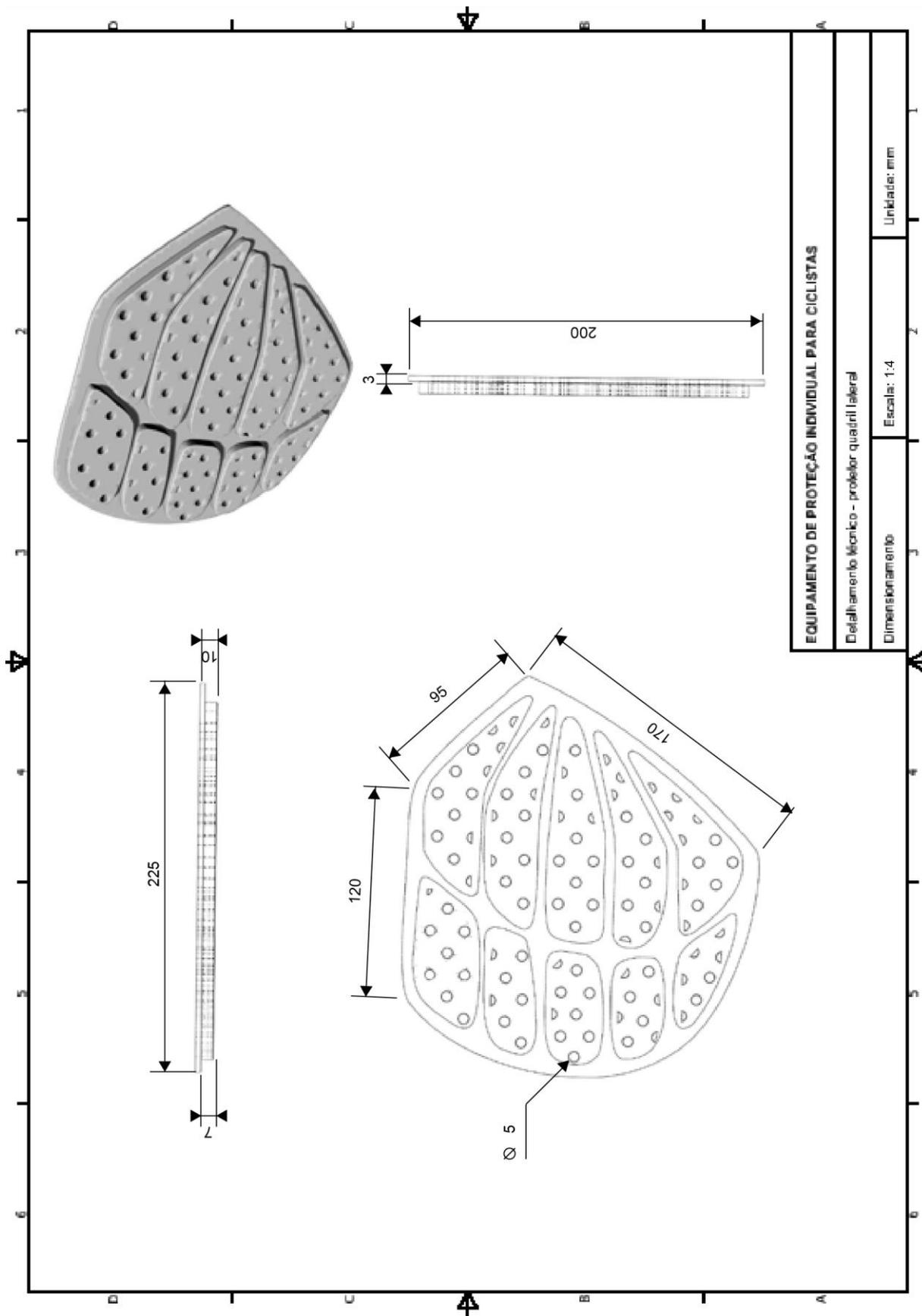
Apêndice 4 - Matriz QFD.

		REQUISITOS DO USUÁRIO						AVALIAÇÃO	GRAUS DE RELAÇÃO	
		PESO	Ter proteção adequada para as pernas	Ser confortável	Ser adequado às atividades	Ser esteticamente atrativo	Ser de fácil armazenagem			
REQUISITOS DE PROJETO	Contemplar a proteção das áreas críticas das pernas	9	3	3	0	0	1	260	0	nenhum
	Garantir segurança ao realizar os movimentos	9	1	3	0	0	0	234	1	fraco
	Ser estável no corpo do usuário	9	9	3	0	0	0	330	3	moderado
	Ter sistemas de proteção contra impactos e abrasões	9	3	9	1	0	1	329	9	forte
	Ter dimensões compatíveis com o corpo do usuário	3	9	1	3	1	0	191		
	Proporcionar conforto durante sua utilização	3	9	3	1	0	0	207		
	Ter sistema de fixação ajustável	3	9	3	1	0	1	209		
	Ter peso reduzido	0	9	1	0	9	1	121		
	Permitir a transpiração	9	9	1	0	0	0	308		
	Oferecer sistema de fechamento prático	1	3	1	9	3	1	97		
	Proporcionar conforto em condições climáticas intensas	1	9	1	0	0	0	140		
	Oferecer liberdade de movimentos	1	9	9	0	0	0	228		
	Ser versátil para uso em diferentes atividades com bicicleta	1	0	9	0	0	3	126		
	Ter boa performance em condições climáticas intensas	3	1	9	0	0	0	174		
	Ter sistema de proteção discreto	0	0	0	9	1	1	29		
	Ter formas, cores e texturas atrativas	0	3	1	9	0	3	80		
	Ter higienização facilitada	0	0	0	1	9	1	5		
	Ter forma e dimensões compactáveis	1	1	0	3	9	1	44		
	Oferecer processo de produção acessível	0	0	0	3	0	9	27		
Ter custo de produção acessível	0	1	0	1	1	9	33			

Apêndice 5 - Detalhamento técnico.



EQUIPAMENTO DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL PARA CICLISTAS		
Detalhamento técnico - montagem geral		
Dimensionamento	Escala: 1:9	Unidade: mm



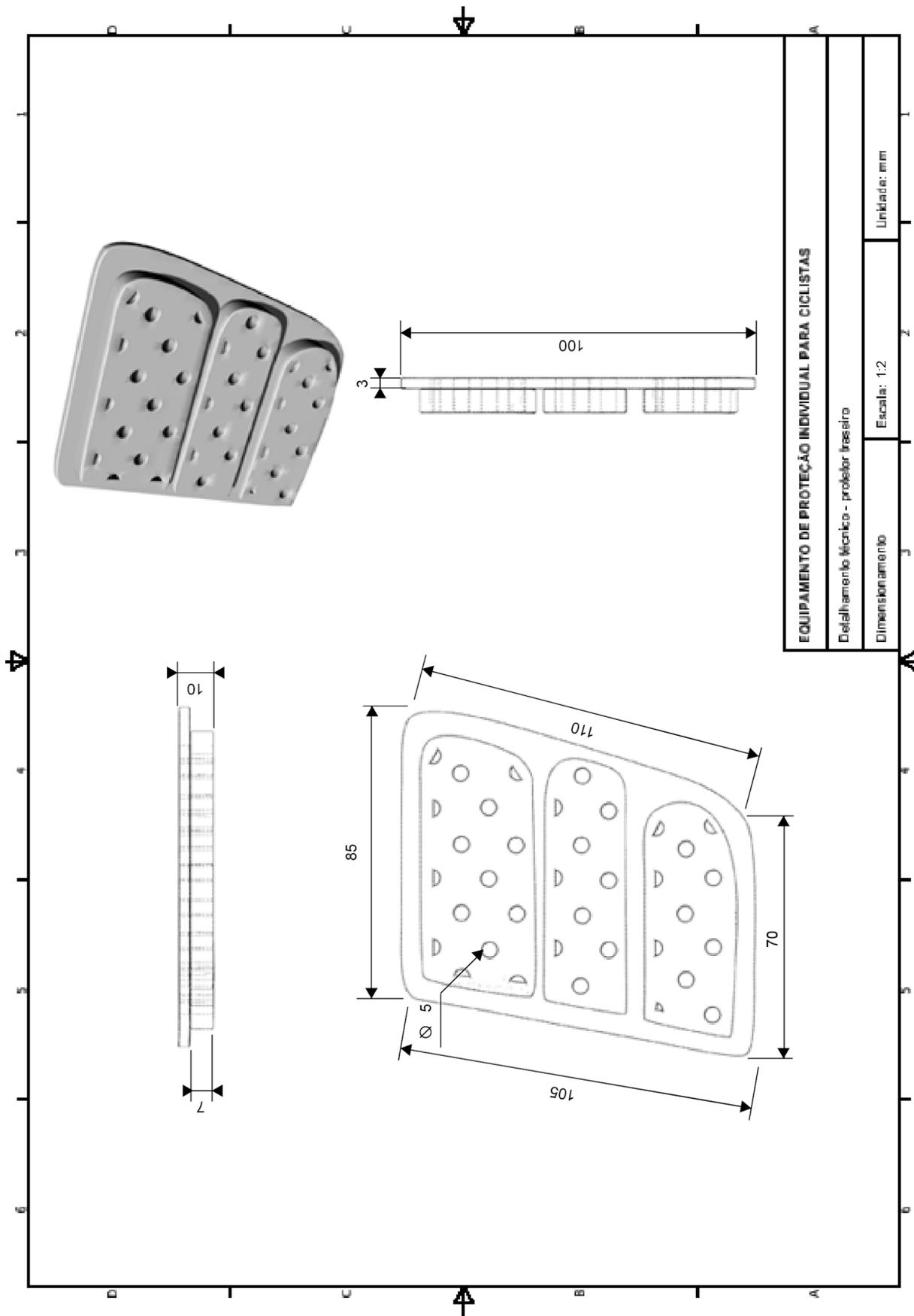
EQUIPAMENTO DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL PARA CICLISTAS

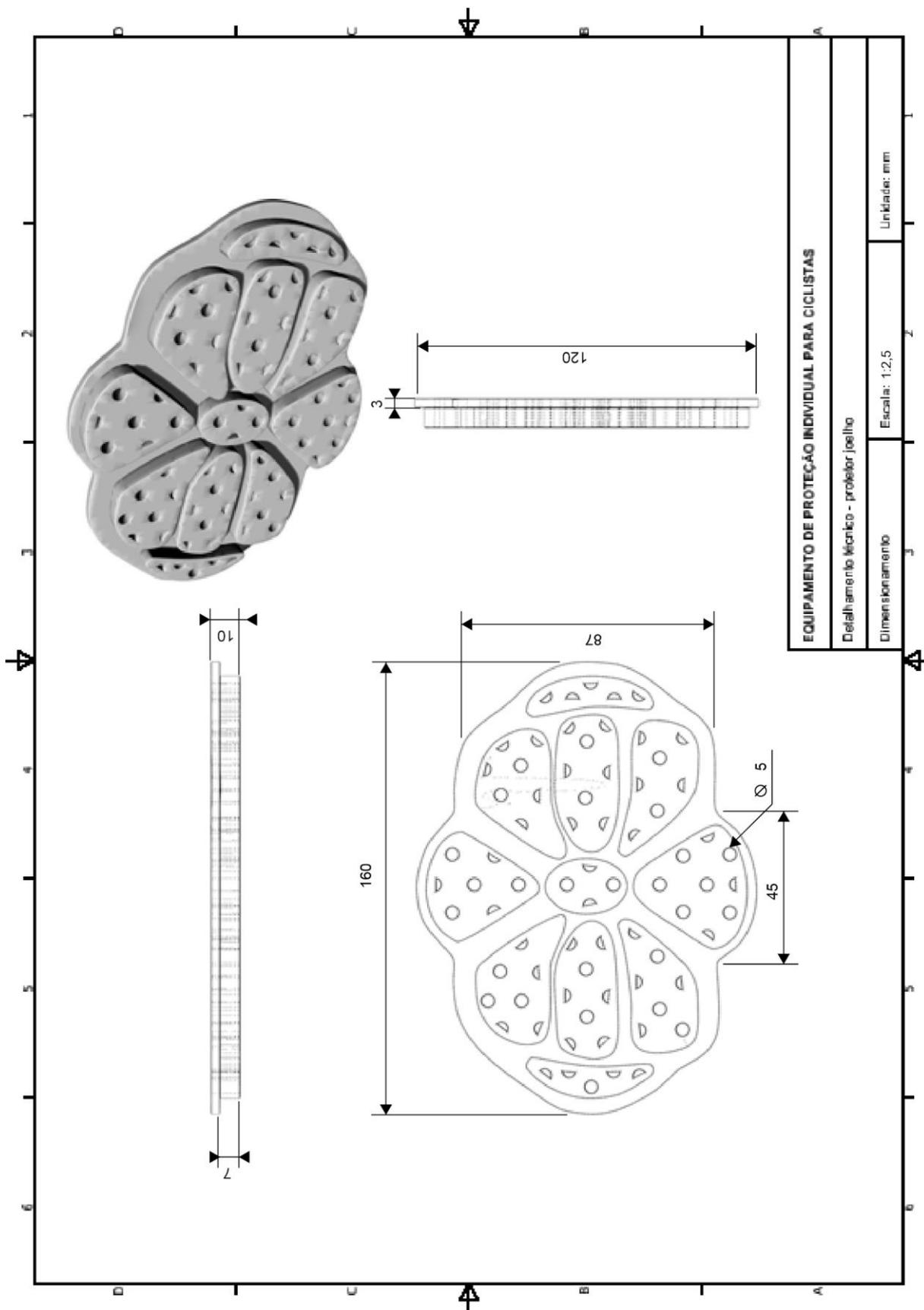
Detalhamento técnico - protetor quadril lateral

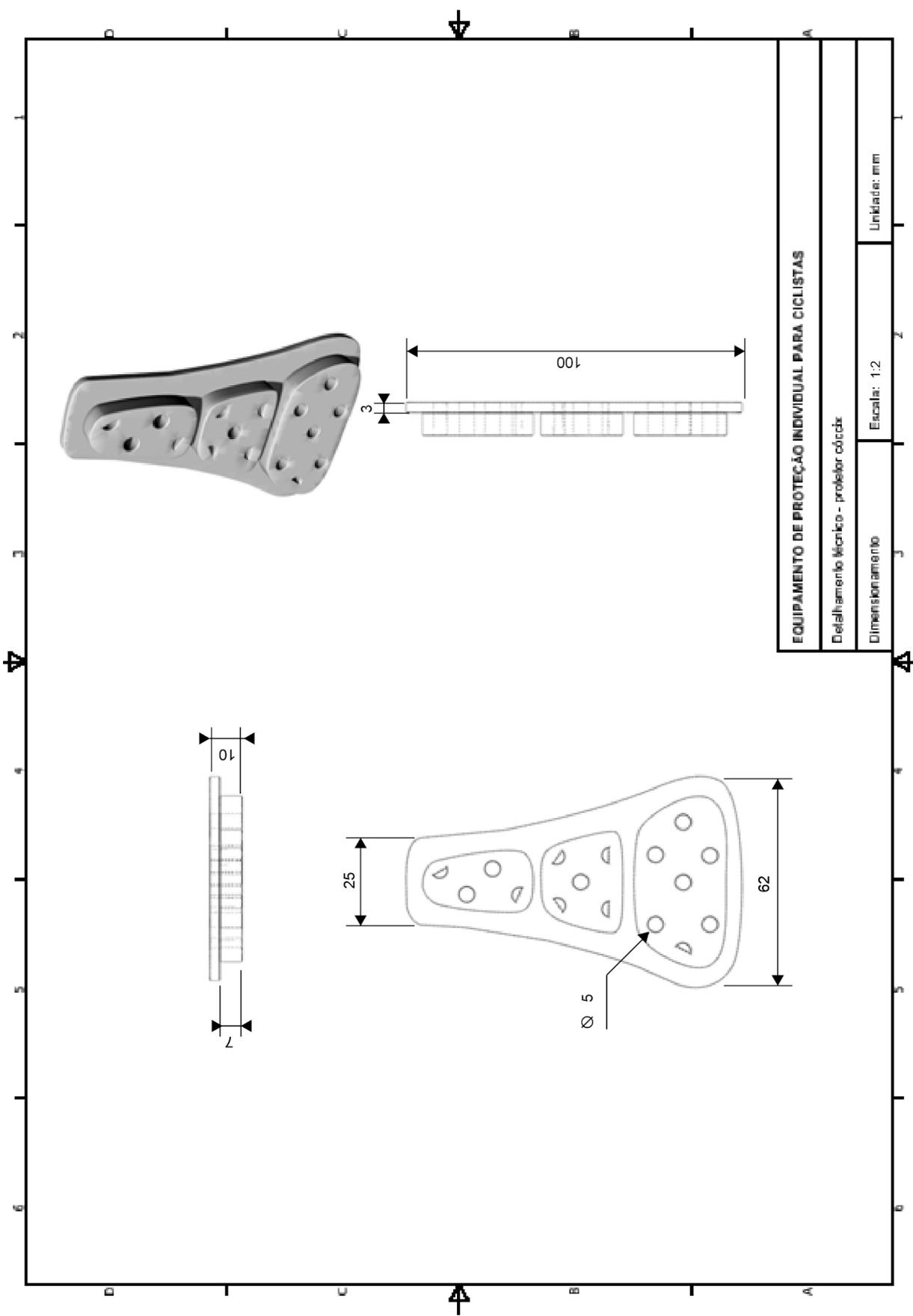
Dimensionamento

Escala: 1:4

Unidade: mm

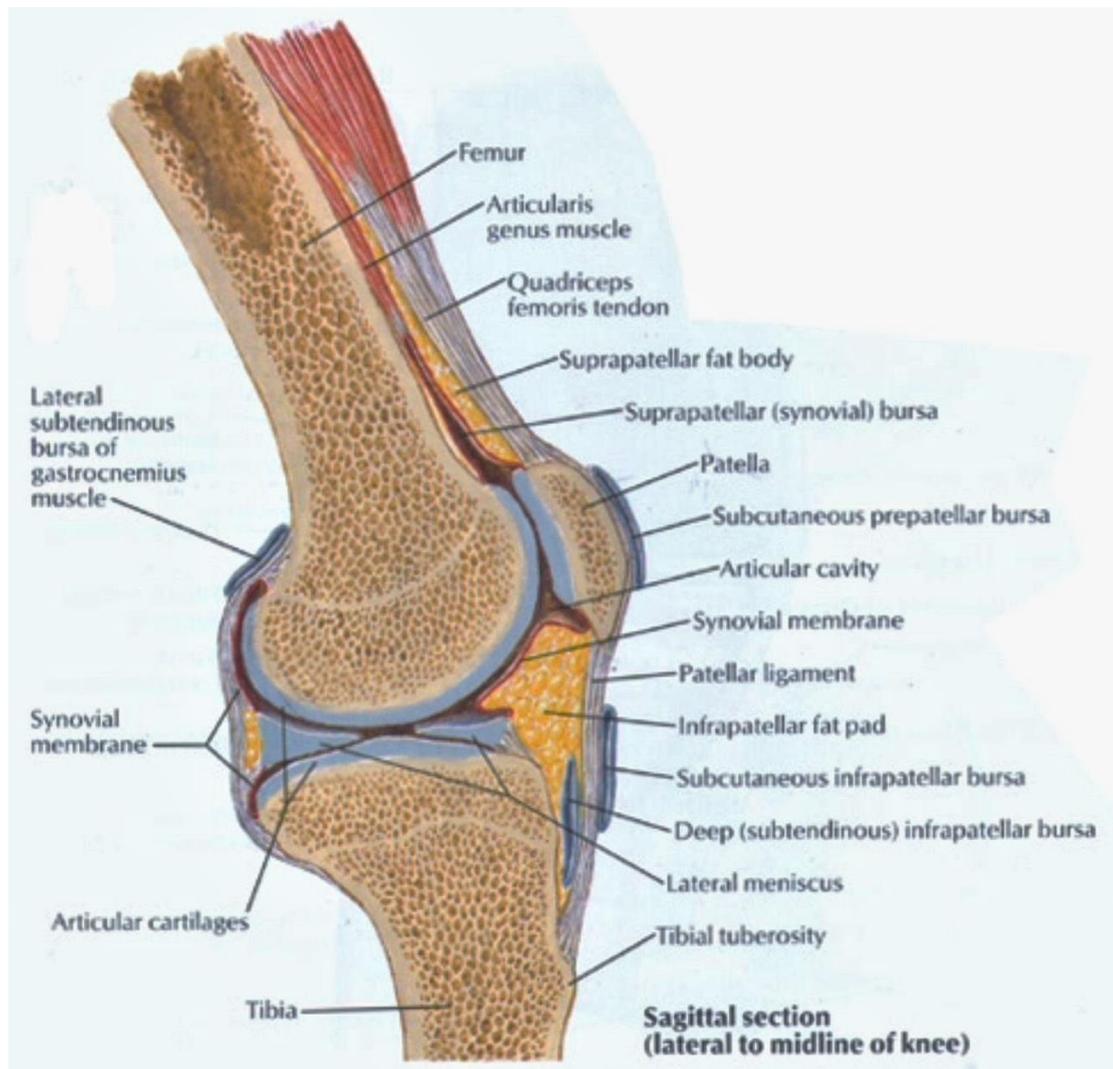






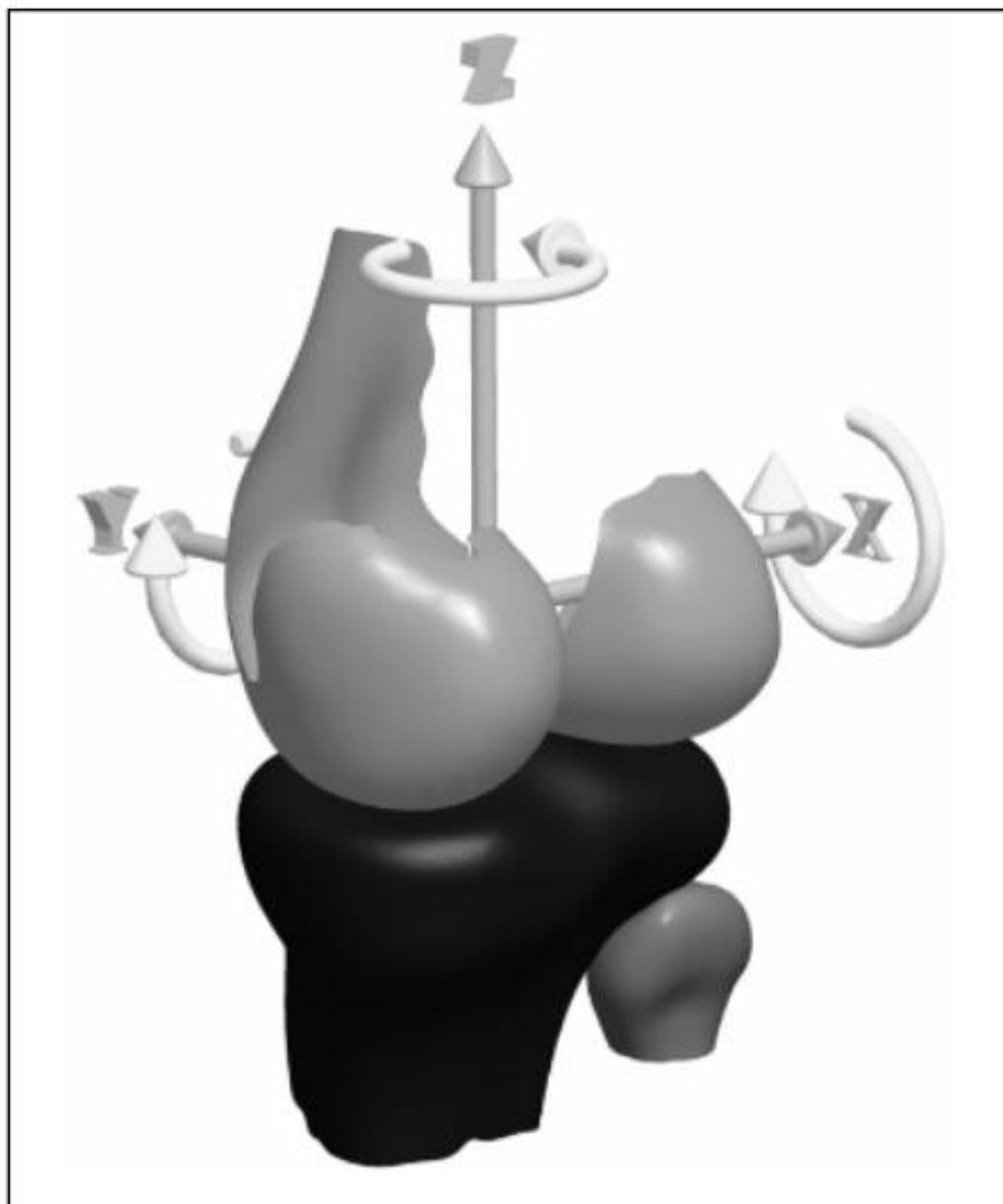
ANEXO

Anexo 2 - Corte longitudinal do joelho humano.



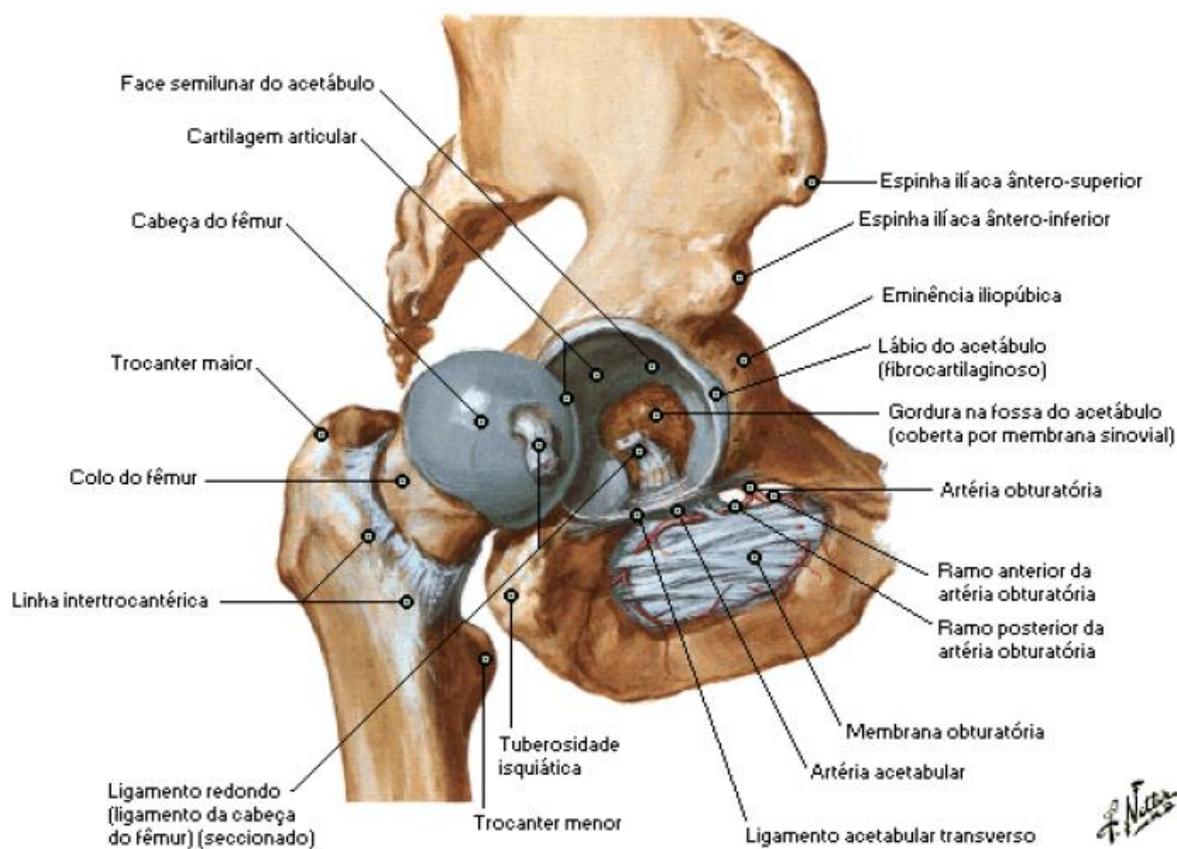
Fonte: Netter (2011).

Anexo 3 - Graus de liberdade de movimento do joelho.



Fonte: Trilha Jr. et al. (2009).

Anexo 4 - Vista lateral da articulação do quadril humano.



Fonte: Netter (2011).