

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE ARQUITETURA
CURSO DE DESIGN DE PRODUTO

ARTUR BECKER

**WEARABLE PARA MONITORAMENTO DE
PERFORMANCE EM NATAÇÃO**

PORTO ALEGRE
2016

Artur Becker

Wearable para monitoramento de performance em natação

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

Orientador: Prof^a. Dr^a. Gabriela Perry

Porto Alegre

2016

Artur Becker

Wearable para monitoramento de performance em natação

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

Aprovado em 1 de Dezembro de 2016.

BANCA EXAMINADORA:

Prof^a. Dr^a. Gabriela Perry
Orientadora

Prof. Dr. Fábio Pinto da Silva – UFRGS

Prof. Dr. Fabrício Augusto Kipper –
UNILASALLE

Prof. Wellington Feitosa – UFRGS

RESUMO

Trabalho de Conclusão de Curso sobre o projeto de um wearable para monitoramento de performance em natação. É apresentado o tema da análise de dados quantitativos de performance em esportes, e como estes são relevantes para a evolução na prática do esporte. Após, é apresentada uma metodologia de projeto dividida em fases divergentes e convergentes. Seguindo as duas primeiras etapas do método apresentado, é definido o problema de projeto a partir de pesquisa explorativa com usuários e revisão da literatura. Depois, continua-se a revisão da literatura e apresentam-se as partes constituintes de um wearable que poderia solucionar o problema de projeto, e os critérios que guiam sua escolha. É escolhido um sensor de navegação inercial para constituir o wearable desenvolvido, além de outros componentes específicos. Por fim, são desenvolvidos e apresentados o design de interação e de produto do wearable.

Palavras-chaves: Design de wearables. Sensores inerciais. Sensores inerciais de navegação. Natação. Ciência do esporte. Análise quantitativa de performance.

ABSTRACT

Bachelor Thesis on the project of a wearable for monitoring swimming performance. The theme of quantitative performance data analysis in sports is presented, as well as its relevance to evolution in sports' practice. Afterwards, a design methodology divided in divergent and convergent phases is presented. Following the first two phases of the presented method, a design problem is defined through exploratory user research and literature review. Then, literature review continues and the constitutive parts of a wearable that could address the design problem are presented, and the criteria that guides its choice. An inertial sensor is chosen to compose the wearable to be developed, as well as other specific components. Finally, the interaction and product design of the wearable are developed and presented.

Key-words: Wearable design. Inertial sensors. Inertial navigation sensors. Swimming. Sports science. Quantitative performance analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – O modelo Double Diamond do processo de design	21
Figura 2 – As fases deste trabalho dentro do modelo Double Diamond	24
Figura 3 – Padrão da braçada de Crawl em relação a um ponto fixo na piscina descrito por duas representações bidimensionais	26
Figura 4 – Representação do padrão de braçada de Crawl em relação ao corpo do nadador	29
Figura 5 – Ação do arrasto resistivo sobre o nadador dependendo de sua posição	30
Figura 6 – Representação dos parâmetros principais da pernada de Crawl	32
Figura 7 – Subdivisão do tempo delegado à aprendizagem de cada um dos três aspectos da natação, de acordo com o avanço do indivíduo	43
Figura 8 – Resultados das comparações meta/resultado e plano motor/movimento	46
Figura 9 – Modelo Gentile adaptado para aprendizagem do Nado Crawl	47
Figura 10 – Tabela com exemplos de erros comuns do nado Crawl	48
Figura 11 – Leituras de um acelerômetro e de um giroscópio.	56
Figura 12 – Algoritmo para extração da posição e da velocidade.	56
Figura 13 – Preparação para coleta de dados usando filmagem.	60
Figura 14 – Quadro da gravação de uma das câmeras, mostrando as marcas pintadas no corpo do atleta	61
Figura 15 – Quadro com o movimento do atleta digitalizado manualmente	62
Figura 16 – Interface do APAS mostrando a vista de uma das câmeras, o modelo tridimensional do movimento e um gráfico da velocidade do centro de gravidade do atleta ao longo do tempo	63
Figura 17 – Câmera à prova d’água posicionada no fundo de uma piscina com pesos . .	66
Figura 18 – <i>Screenshot</i> do software Kinovea.	67
Figura 19 – Interface do programa APAS demonstrando quatro vistas de um lançador de disco, um modelo tridimensional criado a partir delas e um gráfico da velocidade linear do pé, tornozelo, joelho e quadril esquerdos do atleta . . .	68
Figura 20 – Análise do vídeo capturado do nado de um atleta	69
Figura 21 – Mr. Smooth, um recurso tridimensional para a visualização do nado livre .	69
Figura 22 – Poses de calibragem do MVN	73
Figura 23 – Software MVN Studio capturando o movimento e o representando tridimensionalmente em tempo real	74
Figura 24 – Interface do software MVN BIOMECH Studio, para análise biomecânica .	74
Figura 25 – Quantidade de wearables e tipos de sensores posicionados em cada segmento do corpo em pesquisas de natação	75
Figura 26 – Protótipos de wearables para captar velocidade instantânea	76
Figura 27 – Alternativa de captura do movimento por ultrassom ou radiofrequênci a . .	84

Figura 28 – Alternativa de captura do movimento por ultrassom ou radiofrequência com recepetores submersos	84
Figura 29 – Alternativa de captura do movimento por ultrassom ou radiofrequência com um wearable	85
Figura 30 – Alternativa de captura do movimento por videogrametria em piscinas preparadas	86
Figura 31 – Alternativa de captura do movimento por videogrametria com wearable de marcadores luminosos	87
Figura 32 – Alternativa de captura do movimento por videogrametria com câmera móvel em suporte na beira da piscina	87
Figura 33 – Alternativa de captura do movimento por wearable INS	88
Figura 34 – Alternativa de captura do movimento por wearable INS modular	88
Figura 35 – Diagrama de blocos de um wearable genérico.	97
Figura 36 – Exemplo de um wearable BAN	99
Figura 37 – Fluxograma do design de interação do produto, para um número qualquer de módulos	102
Figura 38 – Primeira alternativa de disposição dos componentes internos no PCB	127
Figura 39 – Segunda alternativa de disposição dos componentes internos no PCB	127
Figura 40 – Terceira alternativa de disposição dos componentes internos no PCB	128
Figura 41 – Quarta alternativa de disposição dos componentes internos no PCB	128
Figura 42 – Quinta alternativa de disposição dos componentes internos no PCB	129
Figura 43 – Comparaçāo da aproximação da curvatura de um círculo por diferentes polígonos	130
Figura 44 – Módulos com os eixos dos sensores alinhados com o segmento do corpo em que se encontram (à esquerda) e alinhados arbitrariamente (à direita)	131
Figura 45 – Vista posterior de um atleta com os 15 módulos posicionados em seu corpo, na orientação padronizada (seta vermelha indica o eixo X, verde o eixo Y e azul o eixo Z)	132
Figura 46 – O módulo é posicionado no segmento do corpo utilizando uma cinta que o envolve em uma direção perpendicular ao eixo longitudinal (indicado pela linha tracejada), mas sem sentido definido para os eixos X ou Z (seta vermelha indica o eixo X, verde o eixo Y e azul o eixo Z)	133
Figura 47 – O módulo é posicionado com o eixo X alinhado ao eixo longitudinal do segmento do corpo (indicado pela linha tracejada), e sentido indicado pelo seu formato assimétrico, embora ainda possa ter o eixo Z apontando para fora ou para dentro do corpo (seta vermelha indica o eixo X, verde o eixo Y e azul o eixo Z)	133

Figura 48 – O módulo é posicionado com o eixo X alinhado ao eixo longitudinal do segmento do corpo (indicado pela linha tracejada), e sentido indicado pelo seu formato assimétrico, além de sentido do eixo Z indicado pelo LED e logotipo na face externa (seta vermelha indica o eixo X, verde o eixo Y e azul o eixo Z)	134
Figura 49 – Presilha triglide, que permite o ajuste de comprimento de cintas sem pontas soltas	136
Figura 50 – Capacidade de extensão da cinta	137
Figura 51 – Fluxograma de uso do software para interação com os módulos	142
Figura 52 – Vista frontal do produto desenvolvido	143

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação entre wearables para natação	72
Tabela 2 – Tradução das necessidades dos usuários em requisitos do produto	78
Tabela 3 – Revisão dos requisitos do produto para facilitar a comparação entre similares	80
Tabela 4 – Análise ponderada dos similares de acordo com os requisitos do produto	81
Tabela 5 – Análise ponderada das alternativas baseadas em ultrassom ou radiofrequência	89
Tabela 6 – Análise ponderada das alternativas baseadas em videogrametria facilitada	90
Tabela 7 – Análise ponderada das alternativas baseadas em sensores inerciais	91
Tabela 8 – Somatório normalizado da adequação dos similares e alternativas aos requisitos do produto	92
Tabela 9 – Tabela de Estados, Ações e Erros no uso do wearable	103
Tabela 10 – Tabela de alternativas de interface	105
Tabela 11 – Alternativas de métodos com o módulo pode informar seu estado atual	107
Tabela 12 – Ações permitidas pela interface do módulo e seu respectivo feedback	109
Tabela 13 – Alternativas físicas de identificação	109
Tabela 14 – Modelos e características de alguns INS	111
Tabela 15 – Comparação de intervalos e resoluções de medição dos modelos de INS	113
Tabela 16 – Dados coletados pelos sensores e armazenados	116
Tabela 17 – Dados coletados e armazenados usando múltiplos módulos	117
Tabela 18 – Dados coletados e armazenados usando múltiplos módulos, com arquivos nomeados	118
Tabela 19 – Gastos energéticos dos componentes escolhidos para o wearable	123
Tabela 20 – Dimensões e pesos dos componentes selecionados para o módulo	126
Tabela 21 – Alternativas para indicação da orientação correta de posicionamento do módulo	132
Tabela 22 – Perímetros dos segmentos do corpo onde serão posicionados os módulos, para adolescentes de 14 anos e o percentil 95 de homens adultos	135
Tabela 23 – Ações do usuário desdobradas em suboperações realizadas pelo módulo	139
Tabela 24 – Alternativas de solução de interface para cada suboperação	140

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BAN	Body Area Network
GPEA	Grupo de Pesquisa em Esportes Aquáticos
INS	Inertial Navigation Sensors
IMU	Inertial Measurement Unit
MEMS	Microelectromechanical Systems
WSN	Wireless Sensor Network

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	Objetivos	20
1.1.1	Objetivo geral	20
1.1.2	Objetivos específicos	20
1.2	Método	20
1.2.1	<i>Discover</i>	21
1.2.2	<i>Define</i>	21
1.2.3	<i>Develop</i>	22
1.2.4	<i>Deliver</i>	22
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	25
2.1	Natação	25
2.1.1	Mecânica do nado	25
2.1.1.1	<i>Propulsão</i>	25
2.1.1.2	<i>Resistência</i>	27
2.2	Modalidades competitivas	31
2.2.1	O Nado Crawl	31
2.2.1.1	<i>Posição</i>	31
2.2.1.2	<i>Pernadas</i>	32
2.2.1.3	<i>Braçadas</i>	33
2.2.1.4	<i>Respiração</i>	33
2.2.1.5	<i>Saídas, viradas e chegadas</i>	34
2.2.2	O Nado Costas	34
2.2.2.1	<i>Posição</i>	35
2.2.2.2	<i>Pernadas</i>	35
2.2.2.3	<i>Braçadas</i>	35
2.2.2.4	<i>Respiração</i>	36
2.2.2.5	<i>Saídas, Viradas e Chegadas</i>	36
2.2.3	O Nado Peito	36
2.2.3.1	<i>Posição</i>	37
2.2.3.2	<i>Pernadas</i>	37
2.2.3.3	<i>Braçadas</i>	37
2.2.3.4	<i>Respiração</i>	37
2.2.3.5	<i>Saídas, Viradas e Chegadas</i>	38
2.2.4	O Nado Borboleta	38

2.2.4.1	<i>Posição</i>	38
2.2.4.2	<i>Pernadas</i>	38
2.2.4.3	<i>Braçadas</i>	39
2.2.4.4	<i>Respiração</i>	39
2.2.4.5	<i>Saídas, Viradas e Chegadas</i>	39
2.3	Fisiologia na Natação	41
2.3.1	Sistemas de energia	41
2.3.2	VO ₂ máximo	41
2.3.3	Limiar anaeróbio	42
2.3.4	Tolerância ao lactato	42
2.3.5	Ritmo de competição	42
2.3.6	Velocidade	42
2.4	Aprendizado	43
2.4.1	Métodos para o ensino de Natação	44
2.4.1.1	<i>Modelo Gentile</i>	45
2.4.2	Observação	45
2.4.3	Retroalimentação	46
2.5	Treinamento	49
2.5.1	Treinamento de técnica	49
2.5.2	Treinamento de velocidade e resistência	50
2.5.3	Treinamento ao longo da temporada	50
2.6	Análise de desempenho	51
2.6.1	Análise fisiológica	51
2.6.2	Análise biomecânica	52
2.6.2.1	<i>Videogrametria</i>	52
2.6.2.2	<i>Sistemas de navegação inercial</i>	53
3	PESQUISA COM USUÁRIOS	57
3.1	Entrevistas com nadadores	57
3.2	Entrevista com treinador do GNU	58
3.3	Análise da tarefa com pesquisadores do GPEA	58
3.3.1	Captura do movimento	58
3.3.2	Digitalização	59
3.3.3	Transformação, filtragem e análise	62
4	CONCEITO	65
4.1	Revisão do Objetivo geral	65
4.2	Análise de similares	65
4.2.1	<i>Videogrametria</i>	65
4.2.1.1	<i>Câmera submersa</i>	65

4.2.1.2	<i>Kinovea</i>	66
4.2.1.3	<i>APAS</i>	67
4.2.1.4	<i>Swim Smooth</i>	68
4.2.2	Sensores de Navegação Inercial	70
4.2.2.1	<i>Fitness trackers</i>	70
4.2.2.2	<i>MVN Link e MVN Awinda</i>	72
4.2.3	INS em pesquisas científicas	73
4.3	Requisitos do produto	74
4.3.1	Comparação dos similares de acordo com os requisitos do produto	79
4.4	Geração de alternativas de captura	83
4.4.1	Comparação das alternativas geradas de captura de acordo com os requisitos do produto	87
4.5	Definição do conceito	88
4.5.1	Seleção de alternativas de wearable	88
5	DESENVOLVIMENTO DO WEARABLE	95
5.1	Princípio de funcionamento do wearable	95
5.1.1	Quantidade e localização dos sensores	95
5.1.2	Requisitos de componentes de hardware	96
5.1.2.1	<i>Sensores</i>	97
5.1.2.2	<i>Aquisição do sinal</i>	97
5.1.2.3	<i>Módulo de processamento e armazenamento de dados</i>	98
5.1.2.4	<i>Interface wireless</i>	98
5.1.2.5	<i>Gerenciamento de Energia e Bateria</i>	99
5.2	Design de Interação e Arquitetura de Informação	99
5.2.1	Cenários de uso	100
5.2.1.1	<i>Identificação de estados, ações e erros</i>	101
5.3	Subsistemas do produto	101
5.3.1	Subsistema de interface do wearable	104
5.3.2	Subsistema de informação de estado	107
5.3.3	Subsistema de identificação do módulo	108
5.3.4	Subsistema de coleta de dados	110
5.3.5	Subsistema de gravação dos dados	115
5.3.6	Subsistema de comunicação	121
5.3.7	Subsistema de alimentação	123
5.3.8	Subsistema de suporte	125
5.3.8.1	<i>Desenvolvimento do invólucro</i>	125
5.3.8.2	<i>Desenvolvimento da cinta</i>	130
5.3.9	Subsistema de processamento	136
5.3.10	Subsistema de apresentação/interação digital	137

5.3.10.1	<i>Apresentação</i>	137
5.3.10.2	<i>Interação digital</i>	138
6	APRESENTAÇÃO DO PRODUTO	143
7	CONCLUSÃO	145
 REFERÊNCIAS		147
 APÊNDICES		153
APÊNDICE A – APRESENTAÇÃO DO PRODUTO		155
APÊNDICE B – DESENHOS TÉCNICOS		165
APÊNDICE C – TRANSCRIÇÃO DAS ENTREVISTAS COM NADADORES		171
C.1	F. masculino, 33	171
C.2	R. feminino, 19	176
C.3	B. masculino, 64	179
C.4	A. feminino, 33	182
C.5	R. masculino, 18	185
C.6	A. masculino, 38	187
C.7	Descrição de equipamento para nadar parado por um dos entrevistados	189
C.8	M. feminino, 55	196

1 INTRODUÇÃO

A evolução no desempenho de atletas em uma determinada modalidade esportiva depende de diversos fatores, objetivos ou subjetivos. Prazer em praticar o esporte, disposição e disciplina são fatores subjetivos, que podem até certo ponto ser modulados conforme a vontade do atleta. Aptidão é um fator objetivo, de caráter biológico, que pode ser o condicionante para o sucesso do praticante de alto desempenho, mas que dificilmente irá impedir a prática a nível amador ou recreativo. Condicionamento físico e técnica também são fatores objetivos, que serão determinantes na história do atleta de qualquer nível. Afora fatores biológicos, todos os demais podem ser desenvolvidos.

Outros fatores não são apenas dependentes do atleta, mas também do contexto de treinamento, englobando fatores sociais e políticas públicas do país. Dois fatores de âmbito nacional, definidos por Ferreira (), são (i) a participação na ciência do esporte, incluindo a oferta de apoio multidisciplinar à atletas e treinadores, por exemplo em centros de treinamento ou instituições acadêmicas, e (ii) as infra-estruturas e recursos materiais disponíveis. Para estes dois fatores, respectivamente, foram apresentadas algumas indicações de como aproximar o cenário brasileiro ao de potências do esporte mundial: incorporar mais profundamente a ciência do esporte com o treinamento; e melhorar a qualidade das infra-estruturas esportivas já existentes para o alto rendimento e garantir sua manutenção. Ambas melhorias não são dependentes apenas de decisões políticas, mas também de engajamento interdisciplinar em solucionar problemas e propiciar aplicações acessíveis para a amplitude de realidades da comunidade esportiva brasileira. Consideramos que um dos problemas é o projeto de dispositivos que possibilitem ao atleta ampliar sua performance através da aplicação da ciência do esporte, possibilitando-o a mensurar e analisar sua performance através de indicadores quantitativos.

Na natação, comumente a obtenção destes indicadores de performance se dá em um ambiente laboratorial e não familiar, o que pode desencadear efeitos psicológicos e fisiológicos no atleta. Para contornar isto, é preferível a utilização de dispositivos de medição e análise in situ, como wearables, nas próprias instalações de treinamento ou competição utilizadas pelo atleta (DAVEY; JAMES, 2008). A técnica do nado é de difícil observação, tanto em função do meio aquático (o parecer do observador sobre a performance do atleta sofre com o fenômeno da paralaxe) como da sutileza, coordenação e velocidade dos movimentos. Há diversos desafios nesta coleta, tanto em relação ao processo de captura como em relação à interferência do próprio meio aquático. Da mesma forma que em outras modalidades, a extração de indicadores quantificáveis e baseados na ciência esportiva é essencial (CALLAWAY; COBB; JONES, 2009).

Por isso, neste projeto o objetivo principal está relacionado com a compreensão de fatores biomecânicos dos quais tais indicadores possam ser colhidos. Atletas que têm domínio

da técnica do nado são mais velozes e deslocam-se com menor gasto energético, sendo muito mais eficientes que um atleta com baixo domínio da técnica, o que torna comum nadadores mais velhos conseguirem resultados superiores à nadadores jovens no auge de seu desenvolvimento físico (BÄCHLIN; TRÖSTER, 2012). Estes fatores biomecânicos serão modelados em variáveis capturadas pelos wearables a serem desenvolvidos neste projeto, que está inserido dentro de um ambiente de colaboração interdisciplinar, onde o Design de Produto está a serviço da pesquisa em Educação Física. Nossa meta é auxiliar a equipe do GPEA – Grupo de Pesquisas em Esportes Aquáticos – a coletar dados sobre rotação e velocidade do centro de massa.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Disponibilizar informações relevantes sobre a performance do atleta, para melhora de desempenho, através do desenvolvimento de um produto de baixo custo e fácil operação, que possa ser utilizado fora do circuito científico de análise de atletas de alto rendimento.

1.1.2 Objetivos específicos

1. Definição das informações a serem capturadas
2. Definição da forma de captura das informações (viabilidade técnica e componentes a serem utilizados).
3. Definição da forma como as informações serão apresentadas
4. Desenvolvimento do produto (físico e/ou digital)

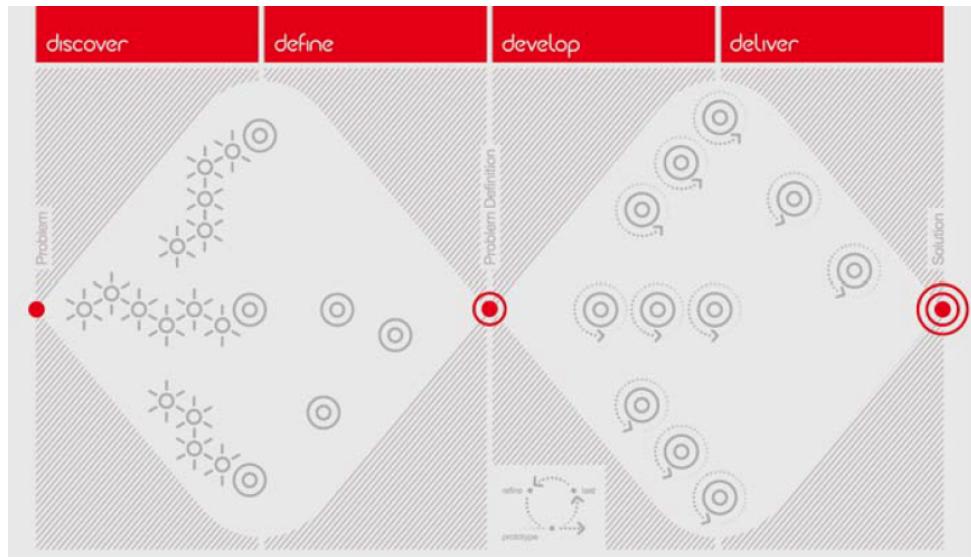
1.2 Método

O processo de design utilizado neste projeto se baseia no modelo Double Diamond (Fig. 1), proposto pelo Design Council com base em uma revisão histórica da metodologia de design. O modelo foi proposto como forma de visualizar o processo de design, e as fases divergentes e convergentes da ação de um designer que são comuns a diversos métodos (DESIGN COUNCIL, 2007b). Similaridades com esse modelo foram encontradas nas 11 empresas que participaram de uma pesquisa aprofundada conduzida pelo instituto em 2007¹. As fases do modelo são *Discover, Define, Develop e Deliver*²:

¹ O Design Council se propôs a descobrir como o design é utilizado para entregar vantagens competitivas em empresas, analisando o emprego do design em 11 empresas líderes de seus respectivos setores de mercado, todas multinacionais. Os pontos chaves levantados pela pesquisa foram: (i) Qual é o processo de design utilizado em corporações líderes que se valem do design; (ii) Como esse processo é gerenciado; (iii) Quais benefícios ele traz; (iv) Quais são as similaridades e diferenças entre os processos destas companhias, e (v) Existem atividades ou métodos entre esses processos de design que poderiam ser considerados boas práticas?(COUNCIL,).

² Respectivamente Descoberta, Definição, Desenvolvimento e Entrega, em tradução livre.

Figura 1 – O modelo Double Diamond do processo de design



Fonte: (COUNCIL, 2007, p. 10).

1.2.1 Discover

É a fase de descoberta de um problema de design. O começo do projeto pode ser marcado de diversas formas: uma idéia que ocorreu a um dos designers, gerentes ou até proposta por um consumidor. A partir daí, propõe-se que designers explorem a área em questão, para entender qual o problema, oportunidade ou necessidade de usuário que pode ser solucionado em um projeto. O resultado da fase de descoberta é um briefing para um projeto de design, e assinala o início do processo de design.

Ferramentas comuns na fase de descoberta são pesquisas de mercado (i.e. análise de similares, feedback de consumidores, percepção da marca) que podem evidenciar gaps no mercado e áreas pra melhoramento e inovação. Além de pesquisas de mercado, essa fase também conta com pesquisas com usuários. Que visam identificar como usuários estão utilizando produtos e serviços atuais, áreas para melhorias e inovação e oportunidades para novos produtos e serviços que possam solucionar uma necessidade de usuário. A participação de designers nessas pesquisas é encorajada, e os métodos utilizados são majoritariamente de pesquisa qualitativa com consumidores, variando desde entrevistas em profundidade e grupos de foco com o público-alvo até técnicas mais detalhadas de etnografia e observação.

1.2.2 Define

Os autores propõe que a fase de Definição é um filtro onde os achados da fase de Descoberta são analisados, definidos e refinados como problemas, e idéias de solução são lançadas e rapidamente prototipadas. A ampla perspectiva proposta na fase de Descoberta visa a identificação de um problema, necessidade de usuário ou oportunidade. A fase de Definição agrupa essas diretrizes e idéias levantadas na primeira fase e as sintetiza em um problema bem

definido, e um plano de como solucioná-lo através do processo de design de um produto ou serviço.

Na fase de definição, os designers devem atentar para diversos fatores que podem influenciar as possíveis soluções para o problema identificado. Tais fatores podem ser o lançamento recente de um produto concorrente, a situação financeira da empresa e questões socioeconômicas e de sustentabilidade (fatores contextuais). Além disso, o designer precisa ter em mente o escopo viável de soluções dadas as capacidades tecnológicas e produtivas da empresa (fatores de viabilidade). Considerações como materiais, logística e tempo para o mercado são importantes nessa fase, embora não tão fortemente como na próxima, Develop: “A investigação destes aspectos não é tão detalhada na fase de Definição quanto na de Desenvolvimento, mas serve como um filtro que permite aos designers identificar qual idéia tem pé e cabeça e deveria ser seguida e desenvolvida”(COUNCIL, , p. 15, tradução livre). A comunicação interdisciplinar com outros experts e departamentos (como engenheiros, desenvolvedores, experts em materiais e times de pesquisa e desenvolvimento) é importante neste estágio. Este input ajuda a guiar as idéias iniciais dos designers.

Algumas das ferramentas usadas nessa fase são a continuidade da revisão de pesquisa, com foco mais específico, brainstorming, prototipagem rápida, cenários e sketches.

Os autores apontam que as empresas visitadas enfatizam as fases de Descoberta e Definição, e que isso está relacionado ao sucesso de seu processo de design.

1.2.3 *Develop*

A fase de desenvolvimento do projeto parte da síntese do conceito entregue na etapa de definição. Nessa fase, o designer, juntamente com parceiros-chave de outras áreas, trabalha para desenvolver um ou mais dos conceitos propostos para solucionar o problema apresentado. Os métodos usados neste estágio são similares aos usados na fase de definição, porém focados em trazer à realidade um dos conceitos específicos. Técnicas de visualização, como roadmaps, são utilizadas para esclarecer os estágios de desenvolvimento, as tarefas e os entregáveis. Os protótipos do conceito podem ser testados com usuários durante este estágio, através de observações in situ ou grupos de foco. Ao final desse estágio, o time de design terá trazido o projeto até um ponto em que ele pode ser entregue para a produção. Nas empresas estudadas, o trabalho multidisciplinar continua sendo importante na etapa de desenvolvimento. O input e expertise de diversas áreas é requerido para finalizar um projeto para a fase de produção.

1.2.4 *Deliver*

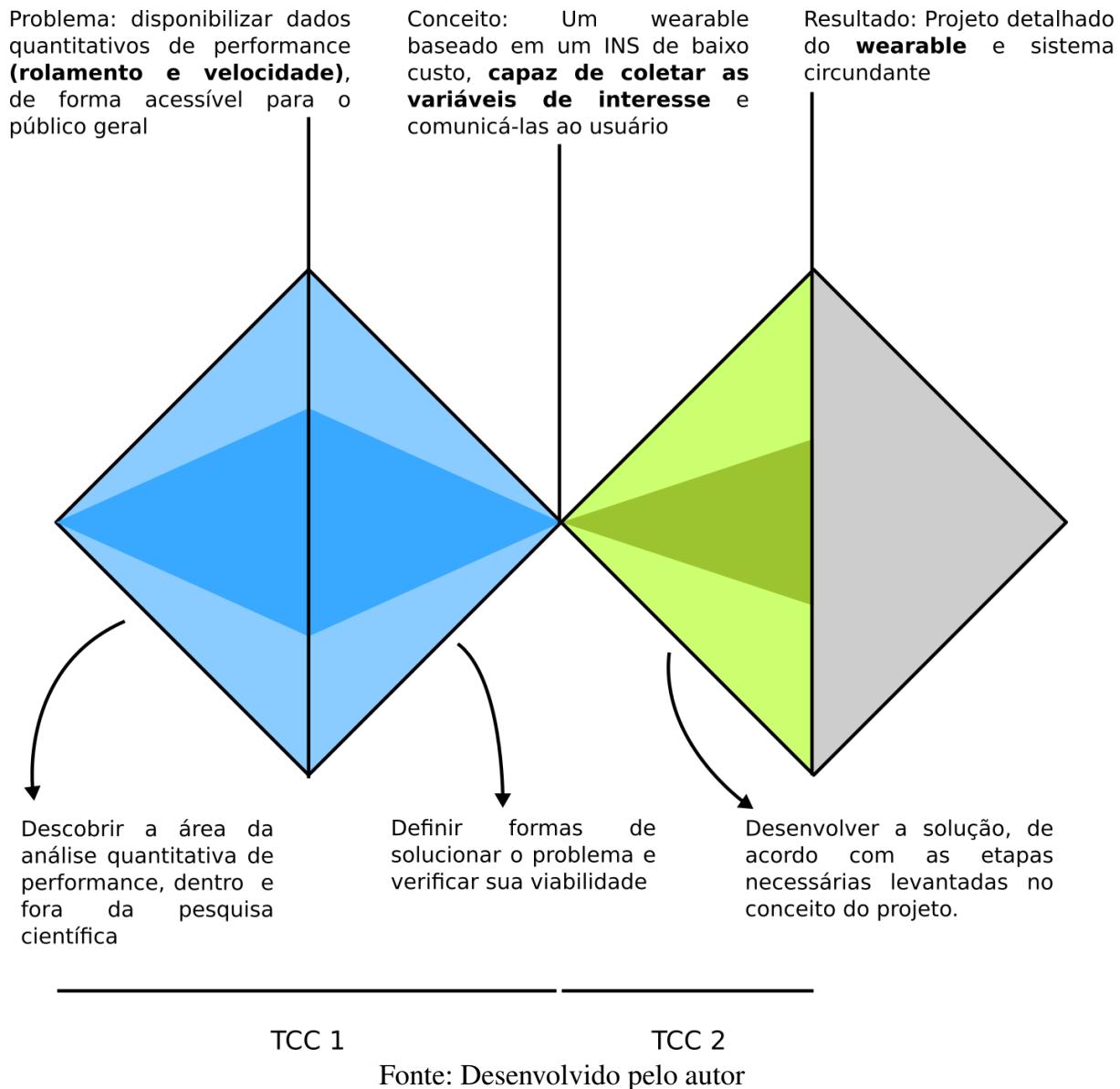
O último estágio do modelo Double Diamond, é onde uma solução para o problema encontrado é entregue como um produto ou implementação de um serviço. O lançamento do produto no mercado ocorre após testes finais de usabilidade e inspeção de regulamentações específicas. Após o lançamento, muitas das empresas estabeleciam métricas para determinar

o impacto do design no sucesso da solução encontrada, de forma a manter a credibilidade da equipe de design e aumentar seu poder de fala dentro da corporação.

Dado o escopo acadêmico deste projeto, o modelo Double Diamond será levado até a terceira fase, de desenvolvimento.

A Fig. 2 mostra as fases do presente projeto no modelo Double Diamond, e as tarefas realizadas em cada estágio. Nela, dividimos o processo entre o que será realizado na primeira fase, TCC1, e na segunda fase, TCC2. O escopo de TCC1 acaba com uma síntese do conceito proposto. O entregável de TCC2 será um projeto detalhado do produto proposto. Na fase de desenvolvimento foram utilizadas metodologias específicas para o design de wearable e de produtos digitais, citadas quando pertinente.

Figura 2 – As fases deste trabalho dentro do modelo Double Diamond



TCC 1

TCC 2

Fonte: Desenvolvido pelo autor

Nota: – O texto em negrito e as áreas mais escuras da imagem indicam as etapas para solucionar o problema de pesquisa, que é menos amplo

Nota: – A etapa de Entrega (*Deliver*), representada em cinza, não faz parte do escopo deste trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Natação

Neste capítulo, são descritos aspectos fundamentais da Natação: a mecânica do nado; as quatro modalidades competitivas (Crawl, Costas, Peito e Borboleta); conceitos de fisiologia relevantes para a Natação e a elaboração do treinamento. Por fim, são analisados os métodos de análise de desempenho.

2.1.1 Mecânica do nado

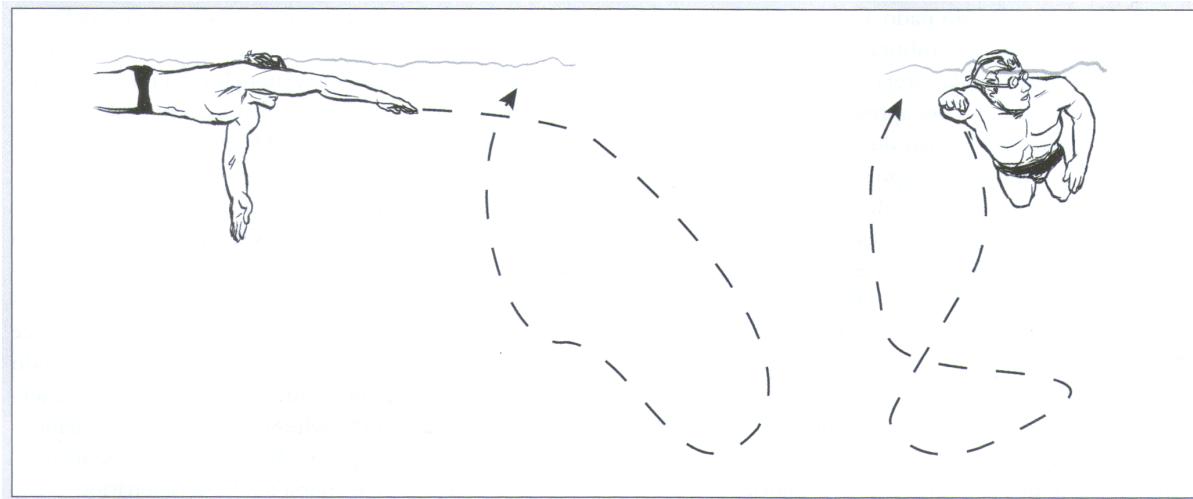
Pode-se descrever a natação como “uma sequência de ações coordenadas do tronco e membros, em um padrão repetitivo e síncrono” (MOONEY et al., 2015, p. 2). Aos movimentos dos membros superiores, se dá o nome de braçada, e ao movimento dos membros inferiores, de pernada. A forma específica de como os membros se movem varia em cada modalidade de nado, e é descrita na Seção 2.2. Aqui são apresentadas as explicações atuais para o nado do ponto de vista físico, e aspectos mecânicos importantes das braçadas e pernadas que contribuem para a propulsão e diminuição do arrasto.

2.1.1.1 Propulsão

A mecânica exata de como os nadadores se movem pela água ainda não é totalmente compreendida (MAGLISCHO, 2010). A movimentação do corpo dos atletas no meio fluido da água é complexa e diversas teorias foram usadas ao longo da história para explicá-la, embora, atualmente, a terceira Lei de Newton - que diz que toda ação de um corpo causará uma reação com a mesma magnitude em sentido contrário - é considerada responsável pela maior parte da propulsão do nado. A teoria do Arrasto e Sustentação, a mesma que explica o funcionamento das asas de um avião - aqui consideradas análogas às mãos do nadador - também é utilizada para explicar os movimentos do nadador, embora sua importância para a propulsão dos nadadores seja discutida. Em 1960 ainda se acreditava que os atletas deveriam, por exemplo, realizar as braçadas do Crawl (descrito na seção 2.2.1) com o braço completamente estendido, puxando a água da forma mais direta possível para trás, o que maximizaria a propulsão do nadador para frente. Essa crença perdurou até que imagens subaquáticas de nadadores profissionais começaram a ser estudadas; Brown e Counsilman (apud (MAGLISCHO, 2010)), em 1971, filmaram o movimento de nadadores embaixo d’água, em uma piscina escura e com luzes presas às pontas dos dedos médios, e descobriram que o movimento realizado por eles não era retilíneo para trás, mas sim diagonal - para o lado, para baixo e para trás - com a mão formando uma trajetória tridimensional sob a água (Figura 3). Acredita-se que esse movimento seja mais eficiente para a propulsão da braçada porque, diferentemente da forma em que o solo oferece resistência à pisada de um

corredor “empurando-o” no sentido contrário, para a frente, a água é um meio fluido e se acelera juntamente com o braço do nadador, para trás; assim, descrevendo uma trajetória diagonal com a mão e braço, e não apenas para trás, o nadador poderia acelerar maiores quantidades de água relativamente imóvel ou menos acelerada e obter mais resistência ao movimento da braçada, de forma a aumentar sua propulsão para a frente ((MAGLISCHO, 2010)).

Figura 3 – Padrão da braçada de Crawl em relação a um ponto fixo na piscina descrito por duas representações bidimensionais



Fonte: (MAGLISCHO, 2010)

Outro ponto importante nas teorias atuais da mecânica do nado é o ângulo de ataque da mão. Ângulo de ataque é o ângulo que a mão faz com a direção do movimento: se a mão estiver perpendicular à direção do movimento, ou seja, como uma pá empurrando a água, diz-se que o ângulo é 90° ; por outro lado, a 0° a mão estaria voltada na mesma direção que o movimento, “cortando” a água. A parte da mão que entra primeiramente na água é chamada de bordo de ataque, e a que entra por último, de bordo de fuga. Na prática, nadadores profissionais usam ângulos intermediários de ataque, entre 50° e 70° , dependendo da modalidade de Nado, o que poderia ser explicado por duas teorias: (i) usar ângulos de ataque durante a braçada poderia colaborar com a produção de forças propulsivas de sustentação para frente, com as mãos agindo como asas de avião sendo “puxadas” para frente enquanto se movem lateralmente, embora não se saiba em que grau essas forças seriam responsáveis pela propulsão do nado como um todo; (ii) os atletas usariam ângulos de ataque nas mãos para tentar mantê-las o máximo de tempo possível voltadas para trás ao longo da trajetória diagonal da braçada - assim, embora os atletas acreditassesem que estão virando suas palmas das mãos para ficarem a 90° da trajetória diagonal da braçada, elas estariam de fato em ângulos menores, em uma tentativa de ficarem voltadas para trás no sentido absoluto. Essa última teoria é de complexo entendimento para treinadores e atletas, especialmente devido às formas atuais de representação das trajetórias tridimensionais de braçadas, através de duas representações bidimensionais complementares. Essas representações costumam apresentar a trajetória ou em relação a um ponto fixo na piscina, como já visto na

Figura 3, ou em relação ao corpo do nadador, sendo estas últimas consideradas de mais fácil entendimento e, portanto, maior uso educacional (Figura 4).

A pernada tem papel secundário na parte propulsiva do nado, o que foi evidenciado principalmente em dois estudos para isolamento das braçadas: (i) de Watkins e Gordon, 1983 (apud (MAGLISCHO, 2010)) em que nadadores profissionais realizaram inicialmente o nado completo (braçada e pernadas) de Crawl em seu ritmo mais rápido, e depois apenas braçadas, tendo as pernas apoiadas em uma boia de tração, e o nado completo se mostrou 10% mais rápido; e (ii) de Holander et al. 1998 (apud (MAGLISCHO, 2010)), onde nadadores olímpicos realizaram o nado Crawl completo em velocidade máxima e depois apenas braçadas, apoiadas em boias de tração, e com a força realizada em cada braçada, tanto no nado completo como nas braçadas isoladas, sendo medida por sensores localizados em blocos especiais instalados na piscina, que o nadador usava para propulsão com as mãos - a diferença média de força realizada pelos braços no nado completo foi de 12% a mais, o que indicaria que as pernas tem uma contribuição de cerca de 12% no nado Crawl.

2.1.1.2 Resistência

A seção anterior versou sobre como nadadores se propelem pela água. Outra parte fundamental do nado é impedir que a água à frente desacelere o nadador: da mesma forma que o atleta se usa da resistência da água sobre sua mão, que se move para trás, para se impelir para frente, o movimento do corpo do nadador para frente gera resistência na água à sua frente, empurrando-o para trás. Ambos são casos de arrasto causado pelo movimento do nadador, o primeiro sendo chamado de arrasto propulsivo e o segundo de arrasto resistivo. Reduzir o arrasto resistivo permite aos atletas atingirem velocidades maiores na água utilizando a mesma força propulsiva. É difícil mensurar os efeitos e magnitude exatos do arrasto resistivo sobre o movimento de um nadador. Algumas categorias de arrasto resistivo foram estipuladas: (i) Arrasto de forma, é o arrasto causado pelo corpo dos nadadores e o espaço que ele ocupa na água, e pode ser diminuído, de forma geral, ao se manter o corpo o mais horizontal possível durante o nado, como pode ser visto na Figura 5, e também ao se reduzir ao máximo as oscilações laterais do corpo durante o nado. Além disso, os nadadores devem tentar “deslizar” para frente sempre pelo mesmo buraco que já abriram na água, minimizando a área do mesmo, e “escorregar” para frente utilizando as partes mais afiladas do corpo primeiro, de forma a reduzir o arrasto - o princípio contrário do que devem fazer para se propelir, com as mãos abertas tentando criar o máximo de arrasto possível em seu movimento para trás; (ii) Arrasto de empuxo é o causado pela água quando o nadador movimenta erroneamente os membros para a frente dentro da água. Embora isso seja um requisito no nado Peito (como será visto na seção 2.2.3), é também um dos motivos para que esse nado seja o mais lento e o único em que o nadador tenha velocidade frontal nula em alguns momentos, pois a contraforça da água sobre o braço retornando para frente por dentro da água anula grande parte da propulsão gerada na braçada; (iii) Arrasto de interferência é o causado pela turbulência decorrente do movimento de uma parte do corpo sobre

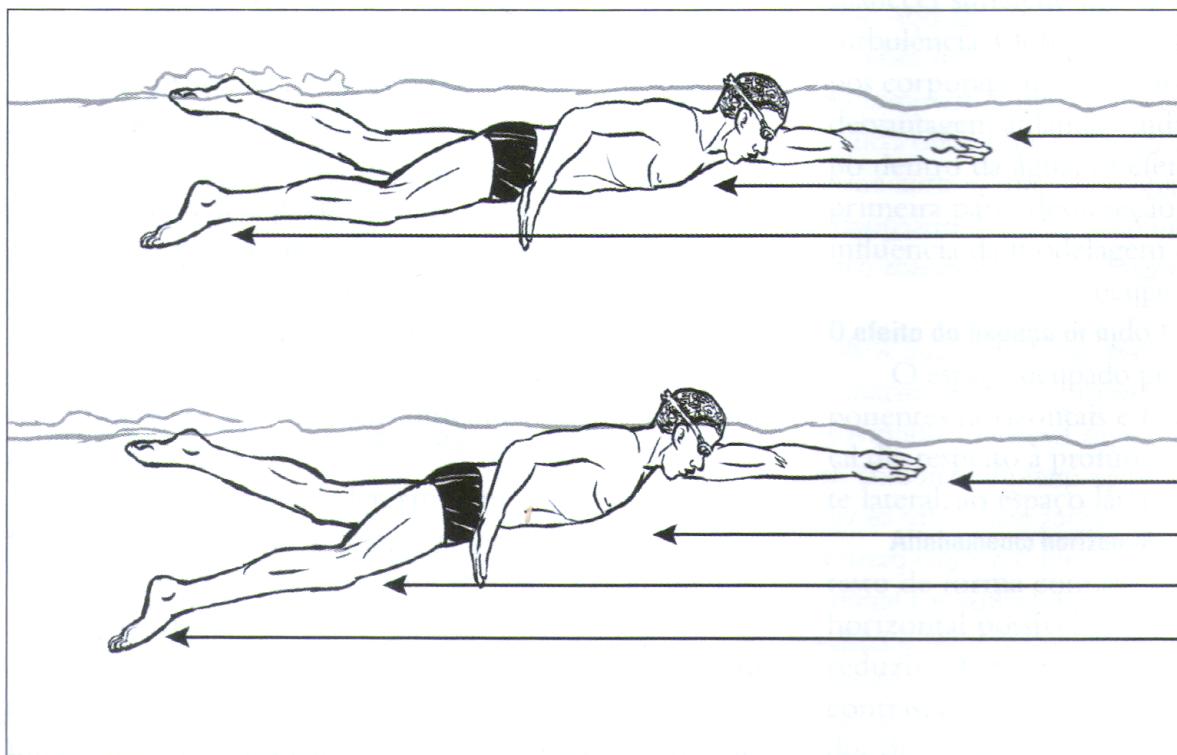
as partes adjacentes, como da braçada sobre o tronco e de uma perna na outra durante uma pernada alternada, embora pouco se tenha concluído sobre sua influência no arrasto resistivo como um todo; e (iv) Arrasto friccional, que é causado pelas moléculas de água que se prendem à superfície do corpo de um nadador quando ele nada, e que se desprendem ao se friccionarem com outras camadas de água mais à frente e causam turbulência em volta do nadador, retardando-o. Em termos físicos, ele é dependente da área de superfície do objeto, sua velocidade e o grau de irregularidade do mesmo, e é considerado o motivo de muitos atletas profissionais rasparem os pelos do corpo antes de competições, e da criação de trajes com índices de fricção menores que o da pele, embora as formas de mensurar o efeito disso sobre a velocidade do nado ainda sejam discutidas (MAGLISCHO, 2010).

Figura 4 – Representação do padrão de braçada de Crawl em relação ao corpo do nadador



Fonte: (MAGLISCHO, 2010)

Figura 5 – Ação do arrasto resistivo sobre o nadador dependendo de sua posição



Fonte: (MAGLISCHO, 2010)

2.2 Modalidades competitivas

As competições internacionais de Natação prevêem provas de quatro modalidades de nado, e provas que combinam essas modalidades, chamadas de Medley. Duas das modalidades (Crawl e Costas) têm braçadas e pernadas alternadas, enquanto as duas outras (Peito e Borboleta) as têm simultaneamente, ou seja, com ambos braços e ambas as pernas ao mesmo tempo, em um movimento simétrico em relação ao plano sagital. Isso faz com que o rolamento do corpo seja mais importante nas duas primeiras modalidades, e que a coordenação do movimento e a ondulação do mesmo (com pernadas mais complexas) mais importante nos dois últimos (MAGLISCHO, 2010). A nomenclatura das fases da braçada em cada um dos nados varia, com Machado (2006) as chamando de Entrada, Apoio, Tração, Empurre e Finalização e Maglischo (2010) de varredura para fora, varredura para baixo, varredura para dentro e varredura para cima, além de entrada e deslize, agarre e recuperação e saída (em ambos os casos, cada tipo de braçada é formado por uma combinação de uma ou mais dessas fases). Nas próximas seções serão apresentadas análises técnicas de cada um dos quatro nados, levando em conta a primeira nomenclatura.

2.2.1 O Nado Crawl

O Nado Crawl é o nado mais utilizado nas provas de Nado Livre, por se mostrar a modalidade em que os nadadores conseguem alcançar a maior velocidade. Pode-se descrever o Crawl como um “constante aperfeiçoamento dos movimentos de braços e pernas para conseguir se deslocar o mais rápido possível.” ((MACHADO, 2006, p.15)). Costuma ser o primeiro a ser desenvolvido, e é necessária atenção do treinador para a técnica do nado, que, apesar do nome de “nado livre” pode apresentar erros que impactam grandemente a performance ((MACHADO, 2006)). As próximas seções contém uma análise técnica do nado Crawl.

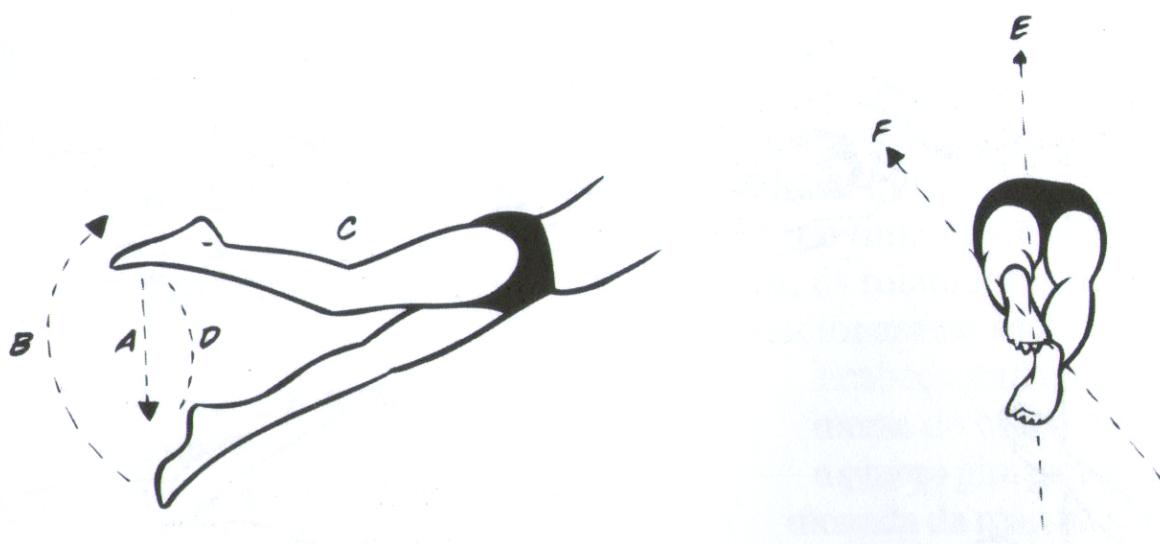
2.2.1.1 Posição

O corpo do nadador em deslocamento durante o nado Crawl é de decúbito ventral, ou seja, com o ventre voltado para o fundo da piscina. Durante o deslocamento, busca-se manter o corpo na posição horizontal mais paralela possível à superfície da água, para diminuir a resistência ao deslocamento. Além disso, também deve-se evitar flexões laterais no deslocamento, que geralmente surgem devido à falta de rolamento no corpo: rolamentos são os movimentos oscilatórios que o nadador realiza durante o nado, que no caso do Crawl, são: i) girar a cabeça para a respiração após o fim da ação submersa do braço; ii) girar o ombro para colocar apropriadamente a mão na água à frente; iii) pequena rotação dos quadris acompanhando o tronco e auxiliando a ação das pernas e iv) girar ligeiramente as pernas para a lateral durante o movimento da pernada. Além disso, a cabeça deve se manter na continuidade do plano sagital, sem desvios laterais ou verticais, e aproveitando o rolamento do corpo para retornar à posição após girar para a respiração ((MACHADO, 2006)).

2.2.1.2 Pernadas

O movimento das pernas no Crawl mudou ao longo do tempo. Atualmente, é um movimento vertical a partir da articulação coxo-femural (que liga a perna ao quadril), e colabora com o equilíbrio, manutenção da posição e deslocamento. Trata-se de um chute a partir da articulação coxo-femural, com o joelho flexionando-se contra a resistência causada pela água, e terminando em sua extensão e hiperextensão do tornozelo, num efeito de “chicotada”, e depois ascendendo relaxadamente. Os parâmetros principais da pernada no Crawl podem ser vistos na Figura 6, como, por exemplo, o ângulo máximo de flexão do joelho, de 145°. A coordenação de pernadas no Crawl pode ser separada em três categorias, baseado na relação da frequência de braçadas e pernadas: i) 2 tempos “arrastado”, para distâncias longas, com 2 pernadas para cada ciclo de braçadas; ii) 4 tempos, também conhecida como 2 tempos “cruzado”, para distâncias intermediárias, com as pernas podendo se cruzar no movimento, com 4 pernadas para cada ciclo de braçada e iii) 6 tempos, para distâncias curtas, um ritmo mais intenso e desgastante, portanto mais utilizado em provas de explosão, com proporção de 6 pernadas para cada ciclo de braçadas. As pernadas podem ser treinadas utilizando-se a prancha, tornando o movimento independente da braçada, além de treinos para ganho de potência nas pernas e flexibilidade articular (MACHADO, 2006). Machado (2006) também fala do movimento específico dos pés: a ação principal dos pés é análoga às hélices de um barco, criando espaços vazios na água através de suas passagens para baixo e para cima, mais fortes e mais fracas, respectivamente. Eles devem estar voltados para dentro, e realizar o movimento de chicotada ao fim da descida do pé, com o relaxamento do tornozelo.

Figura 6 – Representação dos parâmetros principais da pernada de Crawl



Fonte: (MACHADO, 2006)

2.2.1.3 Braçadas

“As braçadas não devem interferir no equilíbrio do corpo, que precisa rolar com movimentos fluentes através da oscilação do tronco e projeção do ombro à frente e também da oscilação em torno do eixo sagital, evitando ainda movimentações desnecessárias”. (MACHADO, 2006, p. 20) A braçada do Crawl pode ser dividida em duas macro-fases: aérea e submersa. A macro-fase submersa pode ser dividida em Apoio, Tração e Empurre. Apoio é a fase logo seguinte à fase aérea, quando a mão entra na água à frente do corpo, entre a linha da cabeça e do ombro, com o braço em extensão e a mão ligeiramente voltada para fora, com o polegar para baixo. O ombro se projeta à frente e a mão afunda cerca de 20 centímetros até se fixar e poder realizar o apoio na água para iniciar a fase de Tração. Os principais parâmetros técnicos a serem observados nesta fase são: i) o braço deve entrar na água quase em extensão, através da ponta dos dedos, depois se estender completamente; ii) o cotovelo deve se manter um pouco mais alto que a mão; iii) o ponto de entrada dos dedos é o mesmo por onde deve entrar o resto do braço; (iv) o dedo mínimo deve estar ligeiramente voltado para fora. Tração é a fase que vai desde a fixação do apoio até a flexão máxima do cotovelo, e pode ter amplitude maior ou menor dependendo do biotipo do nadador. Ocorre sob o corpo, com uma tração do cotovelo que pode se alternar de 90º a 135º aproximadamente, e a trajetória é da mão e antebraço para trás e aproximando-se à linha média do corpo, sendo importante manter a mão mais profunda do que o cotovelo. Alguns técnicos descrevem o movimento como um “S” ou ponto de interrogação. Essa fase termina quando o cotovelo atinge a máxima flexão. Empurre é a fase que compreende o movimento do braço desde sua máxima flexão até sua extensão completa, com o antebraço se aproximando da superfície enquanto o punho em hiperextensão empurra a água (MACHADO, 2006). A fase aérea da braçada é uma fase de relaxamento muscular, realizada de forma “solta” (ou seja, sem conduzir rigidamente a mão durante o movimento). O atleta não deve realizar o movimento com o braço estendido, mas sim flexionando o cotovelo, e com o braço e antebraço o mais rentes à superfície da água possível, para que não interfiram no equilíbrio do nado (MACHADO, 2006).

2.2.1.4 Respiração

A respiração no Crawl ocorre entre as fases de Tração e Empurre. O rosto deve estar voltado para o lado do braço realizando estas fases da braçada, para a inspiração, e depois retornar à posição inicial antes que o braço comece uma nova braçada. A expiração ocorre dentro d’água. A respiração é um fundamento da natação de grande importância, pois uma vez dominado, facilita o aprendizado das outras técnicas. A frequência de respiração depende da distância percorrida pelo nadador, sendo menor para velocistas (que cobrem distâncias menores e precisam do máximo de velocidade) e maior para fundistas (que nadam longas distâncias e precisam do máximo de oxigênio para evitar a fadiga). Além disso, é recomendado o treinamento da natação hipóxica, sem respirar, útil em situações de competição quando se está próximo da chegada. É importante, durante o treinamento, que o nadador realize a respiração bilateral,

intercalando o lado que a cabeça se vira a cada respiração, para evitar a superutilização dos músculos para girar a cabeça para apenas um lado, e também tomando cuidado para não elevar a cabeça demasiadamente, pois isso aumenta a resistência da água - deve-se deixar a água passar pela linha do cabelo, na testa (MACHADO, 2006).

2.2.1.5 Saídas, viradas e chegadas

A saída no início da prova de Nado Livre é regida por cinco aspectos principais, sendo eles (i) tempo de reação; (ii) impulsão, dependente principalmente dos membros inferiores, onde o atleta sai da posição onde está com ambos pés e dedos das mãos no bloco de partida e empurra o bloco para trás com os pés, enquanto lança os braços para frente e para cima; (iii) fase aérea, o atleta leva os braços estendidos até formar uma linha contínua com o tronco, e flexiona levemente a cabeça na direção do peito; (iv) entrada na água, que deve se dar obliquamente e por um único ponto, onde passam braços, cabeça, tronco e pernas; (v) execução de movimentos subaquáticos permitidos pela regra, que atualmente consiste em realizar golfinhadas e pernadas Crawl até a marca de 15 metros de distância do bloco de partida, onde o nadador já deve estar realizando o nado completo (MACHADO, 2006). A virada mais utilizada em competições é a virada em cambalhota, ou virada olímpica, que pode ser dividida em (i) aproximação, que se baseia na percepção do nadador quanto à sua proximidade da borda, podendo ele se utilizar de sinais da piscina, como mudança de cor das raias ou número de azulejos até a borda, ou na sua própria contagem de braçadas, tomando cuidado para escolher referências adequadas para as diferentes piscinas em que o nadador vá treinar ou competir; (ii) rolamento, que é a execução da cambalhota em si, seguida de uma rotação no eixo longitudinal do corpo para que o atleta fique na posição lateral e depois possa passar à ventral; (iii) impulsão, com ambos os pés na borda da piscina, e a cabeça entre os braços estendidos para diminuir o atrito, o atleta se lança à frente; (iv) execução de movimentos subaquáticos permitidos pela regra, similarmente à saída. Na chegada, o atleta pode tocar qualquer parte do corpo na borda (MACHADO, 2006).

2.2.2 O Nado Costas

Há grandes diferenças técnicas entre o Nado Costas e os demais, pois nele se realizam movimentos fora do controle visual, requerendo:

"grande refinamento perceptivo para que o nadador possa chegar a níveis de correção que são necessários para melhorar detalhes do nado. Por este motivo, a utilização mais frequente de gravuras, fotos, ou outras formas de visualização é mais importante no Costas, embora devam ser utilizados em qualquer um dos quatro nados."(MACHADO, 2006, p. 49)

A seguir, é apresentada uma análise técnica do Nado Costas.

2.2.2.1 Posição

Um dos fatores mais importantes do Nado Costas, a posição deve se dar com o corpo o mais paralelo e próximo à superfície possível. O biotipo longilíneo costuma ser considerado o melhor para este nado, e devido ao grande comprimento das pernas, os pés estão mais afundados, embora o quadril deva se manter próximo à superfície, rotacionando-se levemente acompanhando a rotação do tronco e as pernadas contínuas. A cabeça não pode estar muito elevada, pois isso causaria um afundamento do resto do corpo. Assim, ela deve formar um ângulo de cerca de 30° com o pescoço, e o olhar deve estar direcionado a cerca de 45° acima da superfície. Os ouvidos ficam na linha da água, e a cabeça fica praticamente imóvel independente da rotação do tronco (MACHADO, 2006).

2.2.2.2 Pernadas

As pernadas de Costas têm a proporção de seis para cada ciclo de braçadas, e a propulsão ocorre predominantemente no movimento ascendente das pernas, com ênfase na extensão dos tornozelos e movimento submerso. As pernas descem ao fundo com o tornozelo flexionado e musculatura relaxada, e sobem com o joelho levemente flexionado (mais do que no Crawl) e o tornozelo hiperestendido, com os pés voltados ligeiramente para dentro (MACHADO, 2006).

2.2.2.3 Braçadas

A braçada de costas é alternada, e depende da rotação do tronco especialmente para projeção dos ombros, um para dentro da água para ajudar na propulsão, e o outro para fora da água para ajudar na recuperação. Similarmente ao Crawl, a braçada de Costas pode ser dividida em uma fase aérea e fases submersas, sendo elas Entrada, Apoio, Tração, Empurre e Finalização. A Entrada do braço na água se dá com o cotovelo não flexionado, o braço no prolongamento do corpo, próximo ao ouvido e com a palma da mão voltada para fora, e se dá primeiro pelo dedo mínimo. Apoio é quando a palma da mão se volta em direção aos pés e forma um ângulo de cerca de 145° com o antebraço, o que ocorre a cerca de 50 ou 60 centímetros abaixo da superfície. Tração é a ação que ocorre após o Apoio e que puxará a água através de uma alavanca onde o ponto fixo será o cotovelo, e o antebraço descreve um movimento em arco, trazendo a mão próximo à superfície, mantendo um ângulo de cerca de 110° com o braço. Após a Tração o cotovelo passa a se estender para impulsionar a água, e o antebraço segue sua trajetória em arco até a extensão total do cotovelo. A Finalização ocorre com a mão a cerca de 10 cm da coxa e com o cotovelo estendido, após a mão fazer um movimento de chicotada e a palma se voltar para baixo. A fase aérea do Costas, ou fase de recuperação, começa com o braço estendido saindo da água, a partir do polegar, em relaxamento relativo mas mantendo a extensão, e com o rolamento do corpo o ombro se projeta para fora da água, facilitando o movimento. Machado (2006), ainda destaca a extrema importância do rolamento no Nado Costas, pois é vital para a coordenação da braçada e auxilia tanto a fase aérea quanto a submersa da braçada. O braço então descreve

um movimento circular e a palma da mão se volta novamente para fora permitindo que o dedo mínimo seja o primeiro a entrar na água.

2.2.2.4 Respiração

A respiração no nado Costas é facilitada pela posição da cabeça, que nunca fica submersa. A coordenação da respiração ainda é relevante, para que haja a oxigenação correta para a realização do movimento, e evitar a respiração ofegante. Embora essa coordenação dependa do nadador, um exemplo é a inspiração na recuperação de um braço e expiração na recuperação do outro, evitando a inspiração no momento de passagem do braço pelo rosto, o que poderia levar à aspiração de água (MACHADO, 2006).

2.2.2.5 Saídas, Viradas e Chegadas

A saída do Nado Costas é a única dentre os nados competitivos que é realizada de dentro da água, e pode ser dividida em cinco fases: (i) posição inicial, onde os nadadores se seguram na haste do bloco de partida, e no sinal de “às sua marcas”, puxam seu corpo em direção ao bloco, levando o queixo em direção ao peito e ficando com os joelhos acomodados entre os cotovelos; (ii) impulsão, após o sinal de partida o nadador joga a cabeça para trás e estende o corpo, lançando-se à água através do impulso na borda com os pés, e os braços se lançam na direção do movimento; (iii) fase aérea, o corpo do atleta descrevendo uma parábola sobre a água, procurando cobrir a maior distância possível e evitando arrastar o quadril na água; (iv) entrada na água, similarmente ao Crawl, deve se dar pelo mesmo ponto na superfície da água, para todo o corpo, com intenção de reduzir o arrasto; (v) execução de movimentos subaquáticos permitidos pela regra, até os 15 metros de distância da borda da piscina, o atleta pode realizar golfinhadas, após submergir, até começar as pernadas e enfim romper a superfície com o Nado Costas (MACHADO, 2006). Para as viradas, o nadador deve se orientar pelas bandeiras suspensas à 5 metros da borda, e pela mudança de cor das balizas. Nessa marcação, o atleta deverá saber quantas braçadas restam até que chegue na borda, e então realizar uma rotação lateral, podendo terminar o ciclo de braçadas em decúbito ventral, e por fim uma cambalhota, se impulsionando com os pés na borda e novamente ficando em decúbito dorsal (com as costas voltadas para o fundo da piscina), devendo retornar aos movimentos do Nado Costas novamente até os 15 metros de distância da borda. Diferentemente das viradas, a chegada no Nado Costas se dá em decúbito dorsal até que o atleta toque na borda (MACHADO, 2006).

2.2.3 O Nado Peito

O Nado Peito é a mais antiga das quatro modalidades de nado atuais, e deu origem ao Crawl e ao Borboleta. Ele evoluiu historicamente para um estilo com braçadas e pernadas mais curtas, com as pernas iniciando o movimento de Recuperação durante a Tração dos braços, e a Impulsão durante a Recuperação destes (MACHADO, 2006).

2.2.3.1 Posição

Um dos motivos para o nado Peito ser o que oferece mais resistência ao deslocamento é a posição, ditada por regra. O atleta deve se manter “sobre o peito”, e a necessidade de recuperar as braçadas embaixo d’água e flexionar os joelhos nas pernadas dificultam o nado (MACHADO, 2006) (MAGLISCHO, 2010). A cabeça pode ficar levemente submersa, e se eleva e abaixa conforme os movimentos dos ombros e flexão e extensão do pescoço, durante o nado (MACHADO, 2006).

2.2.3.2 Pernadas

A pernada no Nado Peito é realizada pelas duas pernas ao mesmo tempo, simetricamente, ao contrário das vistas anteriormente em Crawl e costas, que são alternadas. Existe grande variação de estilo entre os nadadores, quanto à distância entre calcanhares e quadris, elevação destes últimos, variação de ângulo entre coxa e tronco, entre outras. Assim, embora não haja um modelo único de referência para a pernada, uma descrição do movimento geral pode se dar em duas fases, cada uma dividida em três fases menores, Recuperação e Impulsão. Em Recuperação, i) Flexionam-se os joelhos, e as pernas são trazidas na direção do quadril; (ii) As coxas avançam até formar um ângulo de 120° a 130° com o tronco; (iii) Os tornozelos se flexionam e os dedos dos pés são voltados para longe do corpo, perpendicularmente ao plano sagital, este é o ponto em que os pés estão mais próximos do quadril. Em Impulsão (i) Os joelhos se estendem, projetando os pés para trás e para baixo; (ii) Os quadris ficam fixos abaixo da superfície; (iii) Os joelhos se estendem completamente e os pés se voltam para dentro. Pela regra, o movimento também não pode ser caracterizado como golfinhada, sob pena de desclassificação (MACHADO, 2006).

2.2.3.3 Braçadas

As braçadas de Peito também têm variações entre nadadores, mas um modelo básico pode ser descrito em três fases: Apoio, Tração e Recuperação, todas submersas. A fase de Apoio começa com os braços estendidos à frente do corpo, afundando-se na água de 20 a 30 centímetros, com as palmas das mãos voltadas para baixo e para fora a cerca de 30° da horizontal. Na fase de Tração, o corpo é impulsionado para frente pelas mãos, que fazem uma trajetória inicialmente para fora e para baixo, junto com os antebraços, e depois em direção à linha média, com as palmas das mãos para dentro. Em Recuperação, os braços devem voltar à posição do início da fase de Apoio, para começar um novo ciclo de braçada; os antebraços se aproximam e seguem paralelamente à frente, tentando minimizar a resistência da água, e acabam estendidos com as palmas das mãos voltadas para baixo (MACHADO, 2006).

2.2.3.4 Respiração

Durante a fase de Tração da braçada o pescoço deve se estender, permitindo a inspiração, e a expiração ocorre dentro da água antes da recuperação total da braçada (MACHADO, 2006).

2.2.3.5 Saídas, Viradas e Chegadas

A saída de Peito é similar à de Crawl, na fase aérea. Na fase submersa há a diferença de se utilizar a braçada filipina, que é uma braçada longa, permitida apenas no primeiro ciclo, que adiciona à braçada normal de Peito a fase de Empurre, de extensão do cotovelo para trás. Após essa primeira braçada modificada, há uma pernada submersa e uma golfinhada, e a cabeça deve emergir no início do segundo ciclo de braçadas, que passam a ser curtas. No Nado Peito, e também no Borboleta, o atleta deve tocar a borda da piscina com ambas mãos no momento da virada, não podendo então efetuar uma cambalhota. Assim, utiliza-se a virada simples, tocando a borda com as mãos, virando o tronco para um dos lados e projetando o braço daquele lado para baixo, e o outro por cima da cabeça, e ambos se encontram a frente do corpo após realizada a rotação. Os pés tocam a parede e pressionam a borda, e os joelhos devem se estender com força para impulsionar o corpo, também estendido, para frente. O nadador pode então realizar uma braçada filipina e voltar ao Nado Peito. Assim como nas viradas, nas chegadas o nadador deve encostar ambas as mãos na borda. É comum o vício dos nadadores de tentarem pular a última braçada e chegar na borda através do deslize do corpo na água, embora seja mais eficiente realizar uma braçada, mesmo que reduzida (MACHADO, 2006).

2.2.4 O Nado Borboleta

O Nado Borboleta é o mais recente dos Nados oficiais, e se trata de uma adaptação do Nado Peito, com o retorno dos braços por fora da água, que permite maior rendimento. As pernadas e braçadas são simultâneas, e a pernada evoluiu da de Peito para uma golfinhada vertical com ambas as pernas (MACHADO, 2006).

2.2.4.1 Posição

A posição do corpo é horizontal, com o peito voltado para o fundo da piscina. O corpo fica próximo à superfície mas oscila devido ao movimento das pernadas e a cabeça emerge para a inspiração quando os braços se projetam para a frente. Entretanto, não é necessário respirar a cada braçada, e os nadadores conseguem poupar tempo e esforço não levantando a cabeça para fora da água (MACHADO, 2006).

2.2.4.2 Pernadas

A pernada de Borboleta é também conhecida como golfinhada, e é um movimento vertical de toda a perna e refletida também no tronco e na cabeça. Pode ser dividida em duas fases, uma descendente (Impulsão) e uma ascendente (Recuperação). Na Impulsão, as pernas, inicialmente estendidas e próximas à superfície, são impelidas para baixo em um movimento oscilatório que é a continuação do movimento do tronco, passando pela articulação coxo-femural, com os joelhos se flexionando levemente devido à resistência da água e os tornozelos em extensão. Ao fim da fase de Impulsão os joelhos se estendem e os tornozelos relaxam. Na fase de Recuperação, as

pernas são trazidas para cima com os joelhos em extensão, através de um movimento ondular que projeta os quadris para cima. O nadador realiza duas pernadas para cada ciclo de braçada, com a primeira pernada, que se dá no momento em que os braços entram na água, tendo maior amplitude, e a segunda, quando estes deixam a água, menor (MACHADO, 2006).

2.2.4.3 Braçadas

As braçadas de Borboleta são simultâneas, e podem ser divididas em duas grandes fases, aérea e submersa. A fase aérea pode ser dividida em quatro partes: (i) Entrada, onde o nadador, com os cotovelos altos, realiza a entrada dos braços na água inicialmente pelas mãos, com as palmas voltadas cerca de 45º para fora em relação à superfície e os polegares tocando a água primeiro (embora haja variações com as mãos entrando horizontalmente), e separadas pela largura dos ombros; (ii) Extensão à frente, normalmente chamada de Apoio em outros nados, no Borboleta consiste em levar os braços à frente à cerca de 15 centímetros abaixo d'água, pronando os antebraços; (iii) Tração, onde os pulsos ficam fixos em relação aos antebraços e as mãos realizam um movimento em arco para fora, para baixo e depois para dentro, até passarem sob o tronco com os cotovelos em flexão de cerca de 110º a 150º, dependendo do nadador, e com as mãos no fim se aproximando uma da outra; (iv) Empurre, trata-se da extensão dos cotovelos, projetando os antebraços para cima e para trás, com as palmas das mãos voltadas para os pés, até a saída dos braços da água, quando então os músculos se relaxam. A fase aérea, ou de recuperação da braçada, os braços são projetados novamente à frente do corpo, através de um movimento circular a partir da lateral do tronco, com os cotovelos ligeiramente flexionados e mais altos do que as mãos, e terminando com os braços estendidos à frente do corpo e palmas das mãos voltadas para baixo e para fora do corpo. O atleta pode respirar durante a recuperação da braçada, elevando a cabeça, ou mantê-la submersa caso não precise inspirar, o que diminui a resistência da água (MACHADO, 2006).

2.2.4.4 Respiração

No Borboleta, o atleta pode estender o pescoço para inspirar, entre a fase de Empurre e o começo da fase de Recuperação da braçada. Ele então volta a submergir o rosto, antes de começar uma nova fase submersa da braçada. Alguns nadadores respiram lateralmente, como no Crawl, o que é permitido pela regra. Enquanto submersa, a cabeça deve ser mantida com a superfície da água na linha do cabelo do nadador, que geralmente respira uma vez a cada dois ciclos de braçadas, o que provê oxigenação suficiente sem o custo da fadiga acarretada por levantar a cabeça todas as vezes e as perdas em hidrodinâmica (MACHADO, 2006).

2.2.4.5 Saídas, Viradas e Chegadas

A Saída de Borboleta tem a fase aérea análoga a do Peito e Crawl. Na fase submersa, o nadador pode realizar uma série de golfinhadas até que a cabeça rompa a superfície, a no máximo

15 metros de distância da borda (MACHADO, 2006). A virada de Borboleta é parecida com a de Peito por requerer que o nadador toque ambas as mãos na borda antes de realizá-la, o que obriga o atleta a realizar uma virada simples, como descrito na seção de Nado Peito (2.2.3.5). Entretanto, no Borboleta, após o impulso com os pés, o atleta realiza golfinhadas, assim como na saída, até os 15 metros de distância da borda, e não a braçada filipina, como no Peito. Também como no Peito, a chegada do Borboleta deve se dar com ambas as mãos e o atleta deve atentar para não perder tempo deslizando na água em vez de realizar mais um ciclo de braçadas (MACHADO, 2006).

2.3 Fisiologia na Natação

Além das modalidades de nado, outros aspectos podem ser utilizados para categorizar os nadadores, de acordo com as provas que realizam: (i) velocistas, que são predispostos geneticamente a ter mais fibras musculares brancas, e, através do treino, conseguem gerar e manter altas velocidades de nado, realizando provas curtas, como a de 100m; (ii) fundistas, que são nadadores que desenvolvem resistência e aumento do VO₂ máximo (descrito na Seção 2.3.2), entre outros aspectos, que colaboram para boas performances em provas mais longas, a partir de 800m e (iii) meio-fundistas, que se encontram entre as duas categorias anteriores, e derivam aspectos de ambas, nadando distâncias entre 150 a 400m. Essas três categorias de nadadores têm treinamentos diferentes entre si, tendo em vista as diferentes características necessárias para cada um (explosão vs. resistência, por exemplo) (MACHADO, 2006). Para entender melhor o que diferencia o nadador de uma prova curta do nadador de uma prova longa, nesta seção é apresentada uma revisão dos conceitos relevantes de fisiologia.

2.3.1 Sistemas de energia

As contrações musculares do corpo humano requerem energia, que é liberada pela reação química da quebra de adenosina trifosfato (ATP) em adenosina difosfato (ADP). Entretanto, ATPs têm quantidade limitada, e para sua reposição é necessário fazer o caminho inverso, e transformar a ADP, somada a um grupo livre de fosfato e energia externa em ATP. Essa reposição pode ser realizada de três formas, dependendo da duração do esforço muscular requerido, pelos seguintes sistemas de obtenção de energia: (i) o sistema anaeróbio alático (que tem esse nome por não precisar de oxigênio nem produzir ácido lático) que utiliza fosfato de creatinina (CP) estocados nos músculos para repor o fosfato dos ATPs de forma rápida, se esgotando após alguns segundos - ou seja, no caso da Natação, sendo utilizado nas provas mais curtas (50m) e no início das demais provas; (ii) o sistema anaeróbio lático (que não requer oxigênio e produz ácido lático) que é o segundo sistema a entrar em ação, logo após o início do exercício, e funciona através da quebra da reserva de glicose muscular e liberação de grupos de fosfato para recarregar os ATPs, porém têm como subproduto o ácido lático, que aumenta a acidez muscular quando acumulado, o que por sua vez diminui a eficiência das reações químicas do sistema; (ii) e o sistema aeróbio, que depende de oxigênio e repõe ATPs em grande quantidade, porém através de um processo mais complexo, e é especialmente importante na Natação nas provas de longa duração (MACHADO, 2006).

2.3.2 VO₂ máximo

VO₂ máximo é a quantidade máxima de oxigênio que o corpo pode consumir por minuto. Os nadadores visam treinar para aumentar essa quantidade e, consequentemente, também a sua capacidade de realizar esforços abaixo do máximo durante mais tempo (MACHADO, 2006).

2.3.3 Limiar anaeróbio

O limiar anaeróbio é o ponto em que a produção e acúmulo de lactato se tornam maiores que sua remoção, e é determinado através da medição do lactato sanguíneo. Com o treinamento, os atletas conseguem estender esse limiar para aumentar sua capacidade de nadar anaerobiamente, utilizando o sistema de energia aneróbico alático, mais simples e eficiente que o aeróbio. Entretanto, poucas equipes de natação tem acesso ao equipamento necessário para a medição de lactato sanguíneo, e portanto o estimam através dos batimentos cardíacos ou percentagens de esforço dos tempos obtidos em competição (MACHADO, 2006).

2.3.4 Tolerância ao lactato

Acima do limiar anaeróbio, o corpo começa a acumular lactato, que provoca acidez celular, causando fadiga e dores, e afetando adversamente o rendimento do atleta. Portanto, atletas visam treinar sua tolerância à essa acidificação, de forma a conseguir manter um bom rendimento com altos níveis de lactato, que seriam prejudiciais para pessoas não treinadas (MACHADO, 2006).

2.3.5 Ritmo de competição

O ritmo de competição se baseia no nadador performar de forma similar à como faria numa competição, e geralmente se dá em treinos específicos ou em amistosos e competições intermediárias. Ele permite a avaliação de todos os aspectos fundamentais para a competição, incluindo saídas, viradas e chegada, além do nado em si, de forma holística (MACHADO, 2006).

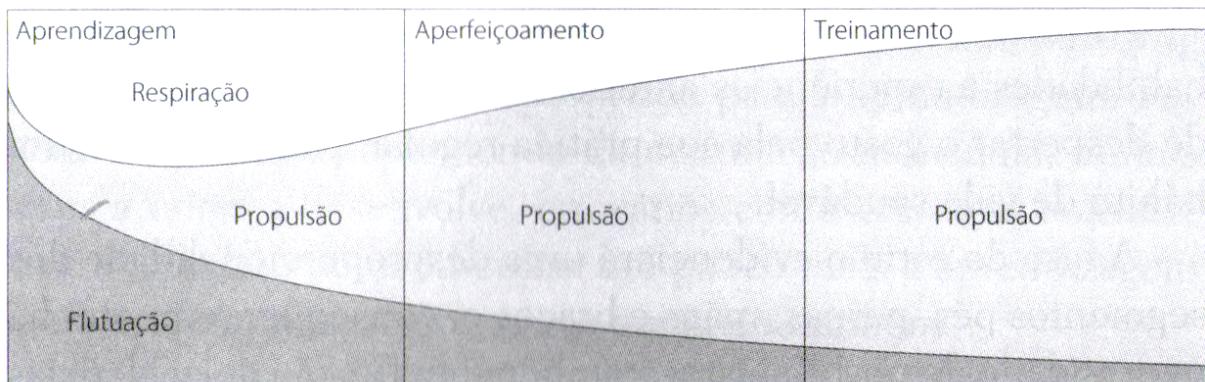
2.3.6 Velocidade

“A capacidade de manter uma grande velocidade média, em si, é a razão principal de um treinamento, ou seja, nadar mais veloz a distância escolhida para a obtenção de tempos menores” (MACHADO, 2006, p. 113) Na natação, o pico de velocidade se dá nos primeiros 20 metros, na saída, e o resto da distância depende da manutenção dessa velocidade e postergar a desaceleração (como visto na seção de Mecânica do Nado, 2.1.1). (MAGLISCHO, 2010) também sugere que nadadores possam se utilizar de uma diminuição da velocidade no início da prova, e consequentemente do arrasto resistivo, para nadar mais rápido na segunda metade da prova e superar os competidores, técnica que Machado (2006) chama de *negative split*.

2.4 Aprendizado

Os movimentos do nado podem ser chamados de padrões motores, e para conseguir desempenhá-los, o indivíduo deve passar por um processo de aprendizagem motora. A aprendizagem em si não é um fenômeno observável, e só pode ser verificada ao se desempenhar a tarefa. A aprendizagem de natação por um indivíduo depende de sua quantidade de prática, do nível de conhecimento do treinador, e da sua capacidade de observação dos movimentos natatórios. Para Krug e Magri (2012): “O conhecimento da técnica desportiva e da relação estrutural dos gestos é por sua vez uma competência exigível a qualquer indivíduo preocupado com o desenvolvimento da tarefa” (p. 169) A aprendizagem motora vêm da experiência prática e do treinamento da resposta adequada a um estímulo específico. Na natação, a aprendizagem motora pode ser dividida em três categorias: (i) da flutuação, ou equilíbrio, que é afetado pelo posicionamento horizontal no corpo durante a natação, e a adaptação à mudança de função de pernas e braços, que servem respectivamente para propulsão e equilíbrio no ato de caminhar e para equilíbrio e propulsão no de nadar; (ii) da propulsão, que leva em como o ser humano se move na água e busca aumentar sua hidrodinâmica (conforme visto na seção Mecânica do Nado) e (iii) da respiração, que se dá por via oral (na inspiração) e oral e nasal (na expiração) de forma rápida e em momentos específicos. A divisão de tempo voltado a aprendizagem desses três aspectos em relação à fase do aprendizado do indivíduo é mostrada na Figura 7, embora essas fases não sejam definidas em termos de tempo absoluto.

Figura 7 – Subdivisão do tempo delegado à aprendizagem de cada um dos três aspectos da natação, de acordo com o avanço do indivíduo



Fonte: (KRUG; MAGRI, 2012)

Os motivos para aprender-se a Natação variam grandemente, dependendo do campo de natação pretendido (utilitário, desportivo ou terapêutico) e de fatores individuais: físicos, sociais e psicológicos - em especial a valorização do convívio com outras pessoas durante o aprendizado, aspecto também levantado nas entrevistas em profundidade com nadadores (ver Seção 4.3). O aprendizado de Natação têm diversos efeitos positivos sobre o corpo:

“Os efeitos da Natação sobre o organismo são bastante significativos, pois desenvolvem a musculatura dos ombros, dorso, pernas e a caixa torácica pela exigência de aplicação de forças em diferentes direções e com o uso de diferentes grupos musculares (diferentes nadados); aumenta a potência do coração, auxilia na recuperação de membros lesionados, reeduca movimentos e educa o ritmo da respiração e melhora a capacidade respiratória. A prática auxilia também na recuperação de entorses, atrofias, fraturas e no tratamento de asma. Reeduca os movimentos de membros atingidos pela poliomielite, é um agente educativo e dá segurança ao indivíduo” (KRUG; MAGRI, 2012, p. 81)

Uma pesquisa realizada com 497 indivíduos (de ambos os sexos, de 16 a 35 anos) fazendo aulas de natação duas vezes por semana elencou como principais motivos para a aderência à prática: (i) melhora e manutenção da condição física e liberação de energia; (ii) modificar seu aspecto estético - para mulheres; (iii) meio de fazer amizades e se divertir com colegas de classe - para os indivíduos mais novos, de 16 a 25 anos; (iv) perda de peso, aconselhamento médico, inserção em um grupo e relação com os professores - para os indivíduos mais velhos, de 26 a 35 anos (SANTANA; BEDOYA; BAUTISTA, 1996 apud KRUG; MAGRI, 2012).

2.4.1 Métodos para o ensino de Natação

Existem diversos métodos para o ensino de natação. O mais antigo deles (do período pré-científico) é a Concepção Global, que prega o auto-aprendizado da natação, que ocorreria naturalmente se o indivíduo entrasse na água e instintivamente tentasse nadar (primeiramente utilizando movimentos terrestres, como correr e saltar, e então adaptando-os conforme necessário). Alguns autores partem dessa Concepção para afirmar que o aprendizado do nado deve partir da experiência do todo, e depois se focar em detalhes. Por outro lado, há a Concepção analítica, também chamada de método parcial, que reduz a Natação a movimentos constituintes, e os aborda separadamente. Também é a corrente que mais dá ênfase à imagem motriz, demonstração, imitação e explicação, e prega que o movimento deve ser realizado fora da água primeiramente, para que seja compreendido, e que professores podem corrigir o movimento dos alunos demonstrando o movimento “em seco”, prática comum até a atualidade. Uma variação deste método é o Método Parcial Progressivo, que prevê a divisão do movimento em partes e a concatenação de duas dessas partes por vez no ensino, e por fim a realização do movimento completo (por exemplo, braços e pernas, braços e respiração e por fim braços, pernas e respiração). Autores analisados por Krug e Magri (2012) diferem largamente em suas conclusões sobre qual método seria mais eficaz para o ensino da Natação, embora possa ser notada uma tendência a indicar-se o Método Total como primário, e o uso do Método Analítico em estágios mais avançados do aprendizado, para detalhes do movimento, ou em casos específicos de dificuldade do aprendiz. Complementarmente a estes métodos, específicos para a Natação, as autoras sugerem a adaptação do Modelo Gentile para a aprendizagem de movimentos, como visto na próxima seção.

2.4.1.1 Modelo Gentile

O modelo Gentile é um método geral para aprendizagem de movimentos, que pode ser adaptado para a Natação. Esse processo pode ser quebrado nas seguintes etapas constitutivas: (i) Meta, o resultado esperado após o aprendizado. “Para o aprendiz, é saber o que será feito e como deverá fazê-lo” (KRUG; MAGRI, 2012, p. 95). Pode ser esclarecida pelo professor de diversas formas, como explicações orais e meios visuais como filmes, demonstrações, diagramas, assim como demonstrações diretas do movimento ou auxiliar o posicionamento do aprendiz; (ii) Subconjunto de estímulos reguladores do movimento, são aspectos do ambiente que interferem no movimento, i.e, o nado crawl com ou sem o auxílio de uma prancha para flutuação. Existem também estímulos não reguladores que podem ser alterados, sem modificar o movimento em si, como usar uma piscina rasa durante o aprendizado. (iii) Atenção Seletiva, onde o indivíduo, auxiliado pelo professor, deve aprender a identificar e atender aos estímulos reguladores do movimento - através de instrução verbal, visual, descoberta guiada, entre outros; (iv) Plano Motor, o plano de ação elaborado pelo aluno para os movimentos que ele visa performar. A influência do professor é limitada nesse aspecto porque diferenças individuais ajudam a moldar como o plano será elaborado (por exemplo, experiências anteriores); (v) Execução da Resposta, onde o aluno realiza o Plano Motor, focando no resultado proposto pela Meta. “É importante nesse momento que o professor reduza elementos de distração no meio ambiente, inclusive comentários ou sugestões” (KRUG; MAGRI, 2012, p. 105); Estes são guardados para após a execução da tarefa, em (vi) Retroalimentação (ver Seção 2.4.3), que se dá tanto intrinsecamente pelo aluno (interna - propriocepção e cinestesia, ou externa - visão audição e tato) ou extrinsecamente pelo professor, e auxilia a comparação meta/resultado e plano motor/movimento; essa comparação guia o item (vii) Processo de Decisão/Próxima Resposta, ilustrado na Figura 8. O processo é exemplificado em forma de fluxograma na Figura 9.

2.4.2 Observação

O que possibilita que o professor opine sobre o movimento realizado pelo aluno visando cumprir seu plano motor (concebido na seção anterior) é a sua capacidade de compreender o movimento realizado, geralmente através da observação. A observação é um processo fundamental para o ensino de natação, com abordagens sistemáticas sendo desenvolvidas a partir da década de 1970 para a análise na área de Educação Física. Para as autoras:

“Um bom domínio das técnicas de observação direta e das técnicas de observação de registros em vídeo (em diferido) e outros meios permitem uma análise detalhada e precisa de movimentos, o que vai facilitar o processo de organização do ensino ou do treino. Estes registros em vídeo, além de melhorar a competência da observação dos professores e treinadores, devem ser utilizados também para que o aluno possa observar-se, ampliando assim o conhecimento de si mesmo, avançando para informações cinestésicas. Uma combinação entre a retroalimentação recebida do professor ou treinador associada à autopercepção via informações visuais tem sido muito usada na análise da estrutura de técnicas desportivas.” (KRUG; MAGRI, 2012, p. 138)

Figura 8 – Resultados das comparações meta/resultado e plano motor/movimento

Tipo de avaliação	Foi o movimento executado como planejado?		
	Resultado	SIM	NÃO
A meta foi alcançada?	SIM	Conseguiu a ideia do movimento	Algo está errado
	NÃO	Alguma coisa está errada	Tudo está errado

Fonte: (KRUG; MAGRI, 2012)

Além de observar, o treinador deve ser capaz de fazer sentido do que observou - identificando o movimento, analisando-o e corrigindo-o. A correção do nado de um indivíduo se dá em termos de um modelo de referência, como o descrito na Seção das modalidades de Nado. Uma forma de identificação e correção de erros se dá com o uso de tabelas com parâmetros observáveis, que o professor usa para guiar sua retroalimentação ao aluno (Figura 10). Um dos problemas da observação em Natação é a visibilidade comprometida dos movimentos submersos, que não permitem uma análise rigorosa da técnica a partir da superfície (Rackham apud KRUG, 1975). Conseguir visualizar estes movimentos permite uma avaliação mais detalhada do nado, embora alguns aspectos gerais do mesmo também possam ser identificados externamente (posição da cabeça e corpo, respiração e coordenação, recuperação das braçadas). A gravação sub-aquática (ver seção videogrametria) é considerada impossível de ser adotada no dia-a-dia. Outra técnica para a visualização do movimento abaixo d'água é através do mergulho, com óculos protetores. embora esta também seja considerada pouco prática.

2.4.3 Retroalimentação

A retroalimentação é a informação sobre a execução do movimento. Da perspectiva do executor do movimento, ela pode ser intrínseca (interna e externa) ou extrínseca. A retroalimentação intrínseca interna é a disponibilizada pelo próprio corpo, através dos sentidos cinestésico e proprioceptivo, e informar sobre o movimento do corpo no espaço (sua orientação, velocidade, etc.). Essa forma de retroalimentação é mais comum em indivíduos com maior nível de habilidade - e já tem experiência em realizar determinada tarefa e sabem quais sensações esperar. A retroalimentação intrínseca externa é a visual, que, no momento de execução do movimento, não é considerada de menor importância do que a interna (isso explicaria, por exemplo, como cegos aprendem a nadar se baseando apenas nas informações cinestésicas)(KRUG; MAGRI,

Figura 9 – Modelo Gentile adaptado para aprendizagem do Nado Crawl

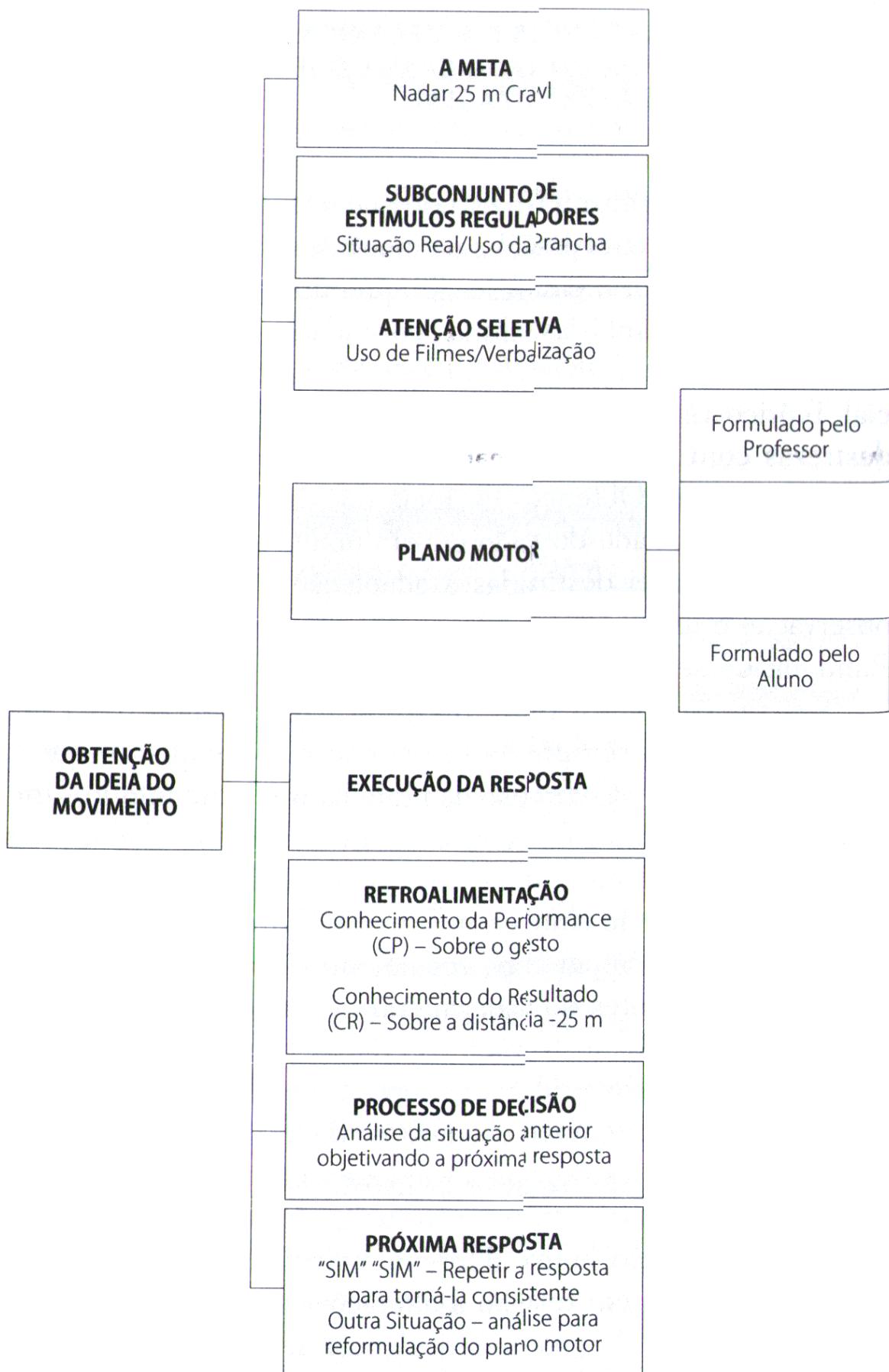


Figura 10 – Tabela com exemplos de erros comuns do nado Crawl

Causas	Erros	Efeitos
a. Cabeça muito baixa, olhos olham para o fundo	<p>→ 1) Os quadris e pernas demasiado altos</p> <p>→ 2) Boca imersa demais impede de respirar</p> <p>→ 3) Ombros demasiado baixos na água</p>	<p>→ 1) Os pés afloram a superfície durante a pernada</p> <p>→ 2) A cabeça gira muito além do necessário para respirar</p> <p>→ 3) A mão e o braço elevam pouco na recuperação</p> <p>→ 3) Mão e braços estendidos durante a braçada</p>
b. Cabeça demasiado alta ou demasiado elevada na respiração	<p>→ 1) O tórax e os ombros muito altos oferecem maior resistência a água</p> <p>→ 2) O peso da cabeça faz afundar a testa, as costas e a parte superior do tórax</p> <p>→ 3) Quadris e pernas demasiado baixos</p>	<p>→ 1) Elevação limitada do peito e cotovelo na respiração</p> <p>→ 2) As mãos empurram para baixo para contrariar o afundamento do corpo</p> <p>→ 2) Encurtamento ao comprido na tração</p>
c. O corpo rola alternadamente direita e esquerda durante a braçada o defeito pode ser de ambos os lados ou só do lado onde não se respira	<p>→ 1) Elevação limitada do braço e cotovelo na recuperação</p>	<p>→ 1) falta de elevação do cotovelo na recuperação</p> <p>→ 2) Falta de elevação do cotovelo sobre a mão</p> <p>→ 3) Incapacidade de manter o cotovelo sobre a mão</p> <p>→ 4) Braço esticado na recuperação</p>

Fonte: (VANDERBECK, apud KRUG; MAGRI, 2012)

2012). A retroalimentação extrínseca é a de procedência externa ao executante do movimento, geralmente partindo do professor - que o informa sobre o movimento e correções necessárias, através da observação (ver seção anterior). Esse tipo de retroalimentação pode ser categorizado de diversas formas. Para Stammers e Patrick (1978 apud KRUG; MAGRI, 2012), ela pode ser descrita em termos cronológicos como concorrente ou terminal (ocorrendo durante ou após a execução do movimento) e imediata ou retardada (ocorrendo logo após a execução ou após um intervalo); além disso, pode ser verbal ou não-verbal (utilizando palavras, gestos e expressões faciais) e separada ou acumulada (dada a cada tentativa ou após uma série de tentativas. Outra categorização é feita por Mosston, Ashworth et al. (2002 apud KRUG; MAGRI, 2012), em cinco tipos: (i) Neutra, em que o professor reconhece a ação, mas não a julga - podendo realizar perguntas ao aluno “como você está se saindo”, “percebeu algum erro?”; (ii) Corretiva prescritiva, onde o professor indica como corrigir um erro que identificou, com foco no movimento; (iii) Correção descriptiva, onde o professor aponta ou descreve o erro do aluno; (iv) De valor, onde o professor expressa um julgamento sobre o movimento - “muito bom” ou “não é bem assim”; e (v) Ambígua, que é considerada uma falta por parte do professor e não auxilia o aluno a corrigir seu movimento. Em resumo:

“A retroalimentação é, portanto, uma informação fornecida ao aprendiz durante ou após a execução da tarefa, servindo como avaliação da execução, motivação ou desencorajamento. Podendo mudar para melhores comportamentos ou afetar a melhoria. A comunicação pode ser por meio de símbolos, gestos, palavras ou frases.” (KRUG; MAGRI, 2012, p. 160)

2.5 Treinamento

O treinamento de natação pode ser caracterizado pela sua natureza (de técnica, de resistência ou de velocidade) e pelo seu desenvolvimento cronológico (mudando com a proximidade de competições).

2.5.1 Treinamento de técnica

O aprendizado da técnica de nado (que é descrita na seção 2.2) é um dos fundamentos do treinamento de natação. Para tanto, é comum que se empreguem exercícios específicos de “técnica” para os nadadores, que podem ser realizados dentro ou fora da água. No Crawl, por exemplo, o nadador pode realizar a braçada semi-submerso em frente a um espelho segurado na borda, para conseguir visualizar o movimento (MACHADO, 2006). O entendimento desse movimento como um padrão em “S” é “um grande passo para o progresso dos nadadores na execução de bons padrões de braçadas para o nado Crawl” (MAGLISCHO, 2010, p. 100). Como dito na Seção do nado Costas (2.2.2), a utilização de figuras e representações visuais é corrente no ensino de todas as técnicas de nado. Além disso, “Exercícios específicos podem ser criados bastando ao técnico ter a sensibilidade de avaliar onde ocorre a falha e quais os caminhos para que o nadador possa perceber o movimento correto” (MACHADO, 2006, p. 37).

2.5.2 Treinamento de velocidade e resistência

Alguns tipos básicos de treinamento podem servir tanto para o treinamento de velocistas quanto de fundistas, e são empregados sempre tendo em vista o nado e distância de prova que são objetivos principais do nadador. O treinamento intervalado (interval training) se baseia em repetições da série de nados com intervalos entre elas, e se divide em dois tipos: (i) *under distance*, onde o nadador realiza séries com distâncias menores do que a prova objetivo, porém empregando esforços maiores (que podem ser mensurados pela frequência cardíaca ou porcentagem de esforço percebido) e nadando mais rápido - com grandes intervalos entre as séries - e é usado para aumentar a velocidade; e (ii) *over distance*, que ao contrário, prevê que o atleta realize séries com distâncias maiores e ritmo mais lento que sua prova objetivo, com pequenos intervalos entre as séries, usado para desenvolver resistência. Outro tipo básico de treinamento é o de repetição (*repetition training*), utilizado por nadadores de provas de 100 a 200 metros, e se baseia em que o atleta realize séries de metade da distância da prova em um tempo médio menor do que em competição, com longos intervalos de descanso, geralmente dimensionados como 3 vezes o tempo de esforço. O *negative split*, ou passagem negativa, mencionado na seção 2.3.6, é outro treino que pode ser utilizado por velocistas ou fundistas, baseando-se apenas em que o nadador nade a segunda metade das séries em menos tempo do que a primeira. De forma geral, os treinos de velocidade são realizados em menor volume e com tempos de intervalo e descanso maiores, e os treinos de resistência, em grandes volumes, pequenos intervalos de descanso e intensidades de esforço menores (MACHADO, 2006). Há também evidência que ambos os tipos de treinamento influem negativamente nos ganhos do outro, com treinos de velocidade afetando negativamente a resistência e treinos de resistência afetando negativamente a velocidade, o que revela a importância do balanceamento desses tipos de treino de acordo com as necessidades do atleta (MAGLISCHO, 2010). Nadadores também realizam treinos fora da água para desenvolvimento de resistência e força muscular, embora a importância do treinamento de força não seja tão alta quanto o de técnica de nado, resistência e elasticidade muscular (PYNE; GOLDSMITH, 2008).

2.5.3 Treinamento ao longo da temporada

O treinamento de atletas durante uma temporada pode ser dividido em três níveis: (i) Macro ciclo, que é o período de duração de todo o treinamento acabando em uma competição principal, e pode ocorrer mais de uma vez por ano, dependendo do número de competições que o atleta disputa; (ii) Mesociclo, que é o treinamento realizado em um mês, e (iii) Microciclo, que é composto pelo treinamento semanal, com variações de duração para mais ou para menos. Os Macro ciclos podem ser divididos em períodos de Preparação, Competição, e Transição. O primeiro trata de elevar a preparação física do atleta, seja de maneira geral, com exercícios fora da água, ou de forma específica, nos pormenores da técnica de nado, como o ritmo de respiração e a contagem do número de braçadas, e assim “alcançar maior rendimento com menor

esforço”(MACHADO, 2006, p. 121). O período de Competição envolve a manutenção do nível alcançado na fase de Preparação, atentando para as datas das competições intermediárias e de observação, como amistosos ou competições de menor interesse, onde o técnico pode observar na prática a aplicação dos fundamentos do atleta, além da preparação psicológica. Antes da competição principal, há o período especial de Polimento, com duração de uma a quatro semanas, cujo conteúdo varia de atleta para atleta. Transição é o período logo após a competição principal, onde há o descanso de provas e a manutenção da forma física para o próximo macrociclo (MACHADO, 2006). Essa manutenção do condicionamento básico pode se dar com uma proporção de um terço do volume de treinamento usado durante a temporada, embora a intensidade de trabalho tenha que ser aumentada em compensação (PYNE; GOLDSMITH, 2008).

2.6 Análise de desempenho

A análise do desempenho em natação é uma forma de criar um histórico da performance de nadadores, para quantificar sua evolução e compará-los com outros atletas. Além disso, permite modelar metas futuras para o desempenho de um atleta, e monitorar seu progresso em direção à esta meta. A análise de desempenho depende da coleta de informações de duas fontes: (i) análises fisiológicas e (ii) análises biomecânicas.

2.6.1 Análise fisiológica

A análise fisiológica do desempenho de nadadores é usada com dois focos principais: (i) quantificar e analisar o condicionamento físico do nadador a partir de parâmetros fisiológicos e (ii) determinar as velocidades de treinamento do nadador. Além disso, os testes fisiológicos também podem ser utilizados para mensurar variações nos parâmetros de condicionamento decorridos de mudanças no treinamento (por exemplo, na dieta do nadador ou em seu treino dentro e fora d’água). Além destes usos no treinamento, testes fisiológicos são utilizados para identificar novos nadadores promissores através de seu nível de condicionamento (PYNE; GOLDSMITH, 2008). Os testes fisiológicos mais comuns são o da concentração de lactato sanguíneo e da frequência cardíaca. Estes testes podem ser realizados no ambiente da piscina, com equipamentos portáteis. Através destes dois parâmetros, além da velocidade de nado e esforço percebido pelo nadador, é possível perceber variações no nível de condicionamento de um atleta (PYNE; GOLDSMITH, 2008). Para que sejam interpretados corretamente, os parâmetros fisiológicos não podem ser analisados separadamente dos dados de desempenho (ex.: tempo para realizar uma determinada distância) e de mecânica de nado. Uma alteração na frequência cardíaca ou no nível de lactato pode significar uma variação na técnica de nado, e não necessariamente uma alteração no condicionamento físico do atleta. Em treinos de *sprint*, parâmetros de mecânica da braçada, como frequência, comprimento e tempo, são consideradas mais relevantes do que os dados fisiológicos (PYNE; GOLDSMITH, 2008).

2.6.2 Análise biomecânica

A biomecânica é a ciência que estuda a mecânica dos seres vivos - o que inclui o movimento de atletas. Muitos desses movimentos são imperceptíveis a olho nu, e, para possibilitar seu estudo, técnicas foram desenvolvidas para ampliar a capacidade de percepção humana. Uma destas técnicas é a análise fotográfica, também chamada de videogrametria, que foi primeiro empregada em 1870, quando o fotógrafo Eadweard Muybridge registrou diversas fotos em sequência do galope de um cavalo, a fim de provar que, em um determinado momento, todas as quatro patas do animal deixavam o chão. Essa técnica logo foi adaptada para analisar detalhes do movimento humano. Atualmente, a captura de filmes em câmera lenta é considerada apenas o primeiro passo para o treinamento científico de atletas. Para Ariel (2009a):

"Treinadores costumavam achar que olhando para um atleta poderiam dizer o quê ele está fazendo certo e errado. Mais tarde, descobriram que isso é muito complicado e começaram a gravar vídeos em câmera lenta. Mas nós descobrimos, e os treinadores estão descobrindo, que mesmo olhando para um vídeo em câmera lenta, você não pode dizer o quê está certo e o quê está errado. O motivo é que, em qualquer movimento, não é o quê nossos olhos vêem que faz a diferença, mas o que é derivado daquilo que o olho vê, que são deslocamentos, velocidades, acelerações, forças. Nós não podemos ver aceleração, não podemos ver velocidade. Algo pode parecer rápido, ou parecer lento, mas a relação de cada segmento com os outros em nosso corpo, não podemos ver com nossos olhos." (ARIEL, 2009a, 3:30)

As próximas duas seções se focam em duas técnicas de captura de dados para análise biomecânica: videogrametria e sistemas de navegação inercial.

2.6.2.1 Videogrametria

A videogrametria é o método mais utilizado em pesquisas científicas para coletar dados sobre posicionamento, velocidade e rotação em nadadores, embora tenha aplicação restrita fora desse círculo (MAGALHAES et al., 2015). Na videogrametria, os vídeos capturados do movimento de atletas são digitalizados e modelos tridimensionais são criados para analisá-lo - por exemplo, para descobrir onde a técnica do atleta está atrapalhando sua performance. Através desses modelos, é possível quantificar os dados de performance relevantes - um exemplo é na análise de um lançador de disco Olímpico, Mac Wilkins, que alterou sua técnica após a análise demonstrar que ele estava desperdiçando energia friccionando os pés no chão e não mantendo uma das pernas rigidamente no chão no momento do lançamento. Após a alteração da técnica, o atleta quebrou o recorde mundial ao ultrapassar sua marca pessoal por 4 metros (ARIEL, 2009b). Os fundamentos da videogrametria se mantêm iguais desde a fundação da primeira empresa de análises biomecânicas nos EUA, em 1969: o movimento é capturado em vídeos; as articulações relevantes do atleta são digitalizadas; e o modelo tridimensional resultante permite ver os padrões de aceleração de cada membro do atleta. Esta aceleração, unida ao conhecimento da massa de cada um desses membros, possibilita descobrir as forças envolvidas, através da

Segunda Lei de Newton (resumidamente: a soma das forças em um corpo é igual a massa deste corpo vezes a aceleração à que ele é submetido). Isso é importante porque entender o conjunto de forças atuando em um movimento permite compreender melhor o próprio movimento (ARIEL, 2009a). Entretanto, diversas particularidades da videogrametria contribuem para que treinadores a percebam como tendo utilidade prática limitada, apesar de reconhecerem a importância da análise quantitativa de performance: (i) os preparativos para a coleta de dados podem levar várias horas; (ii) a digitalização manual dos dados - requerida no contexto da natação - é um extenso processo mecânico que consome tempo do analista; (iii) a limitação da amostra, devido à limitações técnicas, o material coletado em vídeo costuma representar apenas um ciclo de braçada do nadador, em um trecho específico da piscina; (iv) a paralaxe do meio aquático e interferências diversas na imagem capturada (bolhas, turbulência, ocultamento de partes do corpo) dificultam a identificação dos pontos no corpo do atleta e requerem um grande número de câmeras (seis, sendo quatro subaquáticas). Neste cenário, o uso desta técnica fica restrito a instituições científicas e centros esportivos de elite (MOONEY et al., 2015)(Mooney et al 2015).

Para este trabalho, conduziu-se uma observação do processo de coleta e análise biomecânica por videogrametria (descrita na seção 3.3) do Grupo de Pesquisa em Esportes Aquáticos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (GPEA). Paralelamente, conduziu-se uma entrevista com um treinador de natação do Grêmio Náutico União, em Porto Alegre, revelando certo grau de uso da videogrametria (presente na seção 3.2), e descreveu-se o processo de uso do software utilizado por ele na seção 4.2.1.2.

O método de Ariel (2009b), se baseia em capturar e analisar os vídeos, indicar ao atleta como ele pode alterar seu movimento para obter uma performance maior (maior distância no lançamento de disco por exemplo) e analisá-lo novamente após uma ou duas semanas. Este método é comum a uma multitude de esportes, incluindo a natação.

2.6.2.2 Sistemas de navegação inercial

Em contraponto à videogrametria, há um crescente corpo de estudos versando sobre a utilização de sistemas de navegação iniciais como alternativa para a coleta de dados de desempenho. Sensores iniciais de navegação (*Inertial Navigation Sensors - INS*) são sensores cujas medições são usadas para rastrear a posição e orientação de um objeto em relação a um ponto de partida, orientação e velocidade conhecidos. Unidades de medição inercial (*Inertial Measurement Unit - IMU*) tipicamente contêm três giroscópios e acelerômetros ortogonais, medindo velocidade angular e aceleração linear, respectivamente. Há modelos que acrescentam uma bússola de 3 eixos, oferecendo um "sistema com 9 eixos". Mediante o processamento de sinais obtidos a partir destes dispositivos seria possível rastrear a posição e orientação de um objeto. Nestes estudos, acelerômetros são utilizados para captar informações-chave sobre a performance do atleta, como velocidade, contagem de ciclos, simetria do nado, entre outras. Além disso, desenvolvimentos recentes da tecnologia dos sensores iniciais viabilizam a criação

de sistemas de baixo custo e de pequenas dimensões, que podem ser fixados diretamente no corpo de atletas, embora, principalmente no caso de atletas de alto desempenho, ainda careçam investigações sobre o efeito do arrasto gerado pelo sistema (MAGALHAES et al., 2015). Comparados à videogrametria, sensores iniciais têm o potencial de ter um custo muito menor de aquisição e de operação, pois dispensam um sistema de multi-câmeras e o trabalho de técnicos para captação e digitalização manual dos dados, além de poderem ser aplicados durante toda a extensão da prova, apresentando dados de performance mais representativos e possibilitando a análise do efeito da fadiga sobre a técnica de nado, e possibilitarem que múltiplos atletas possam ser analisados ao mesmo tempo, na mesma piscina. Esse fatores levam pesquisadores a propor que o uso de sensores iniciais pode ser vantajoso em relação à videogrametria tradicional (CALLAWAY; COBB; JONES, 2009), (YUJI, 2005). Alguns autores vêm desenvolvendo, com sucesso, sistemas para medição de diferentes aspectos do nado utilizando sensores iniciais. Dadashi et al. (2012), desenvolveu algoritmos para a obtenção do perfil de velocidade de um atleta durante uma volta e o seu perfil de velocidade intra-cíclica para cada braçada. Os dados foram captados por um sensor inercial tri-axial fixado na lombar do atleta, e computados posteriormente informando-se a dimensão da piscina e o tempo cronometrado manualmente da prova, para contornar os erros de integração do sinal. Esta pesquisa nos deu insights importantes sobre como abordar o problema. O estudo de Dadashi et al. (2012) contabilizou ainda os ciclos de braçadas, que eram reconhecidos através do rolamento do corpo do atleta, graças à captação de aceleração medio-lateral, de forma similar à utilizada por Stamm e Thiel (2015), onde foi utilizado um algoritmo de *zero-crossing*¹ para detectar o número de braçadas e analisando o sinal da aceleração no eixo medio-lateral para verificar de qual lado é cada braçada (na configuração do autor, a aceleração da gravidade no eixo médio-lateral era positiva para braçadas com o lado direito e negativa para braçadas com o lado esquerdo). Em outro estudo, Stamm et al. (2013), também utilizando um acelerômetro fixado na lombar do atleta, mediu seu perfil de velocidade comparativamente ao obtido por um sistema de amarra (composto por um rolo de cabo com uma extremidade acoplada à vestimenta do atleta e a outra na borda da piscina, com um sensor óptico que mensura quanto o cabo está se desenrolando por segundo), normalizando a velocidade obtida da integração do sinal do acelerômetro para a velocidade média obtida sabendo-se o comprimento da piscina e o tempo da prova manualmente cronometrado. A análise das variações de aceleração nos três eixos permitiu aos pesquisadores discernir 5 pontos chave da volta.

Também utilizando sensores iniciais, Sage et al. (2010b) buscou criar um sistema de análise de performance holístico, com feedback em tempo real para múltiplos atletas. O sistema - focado em contagem de ciclos de braçada e duração dos mesmos - é composto por uma rede de sensores sem fio (*wireless sensor network*, WSN), uma câmera embaixo d'água e outra de alta velocidade do lado de fora da piscina, uma placa de força adaptada ao bloco de largada,

¹ *zero-crossing* é um ponto onde o sinal de uma função matemática muda (por exemplo, de positivo para negativo), representado pelo cruzamento do eixo (valor zero) no gráfico da função. É um termo comumente usado em eletrônica, matemática, e processamento de som e imagem.

marcadores de LED em pontos chave no corpo do atleta, um gatilho de áudio e laptops, além de fones à prova d'água para comunicação em tempo real do treinador com o atleta. Cada nó da rede é um sensor de inércia tri-axial, fixado na região da lombar de um atleta, o que permite a análise de performance de diversos atletas simultaneamente durante um treino. A autora conclui apontando que, utilizando-se métodos manuais para obtenção dos dados (i.e contagem de voltas, contagem de braçadas e sua duração) através do vídeo ou da análise das curvas obtidas, são necessários 45 minutos para cada 100 metros de nado, ou 45 horas para uma sessão de duas horas de um nadador de elite. Os mesmos dados foram obtidos em tempo real através dos algoritmos de detecção desenvolvidos no estudo.

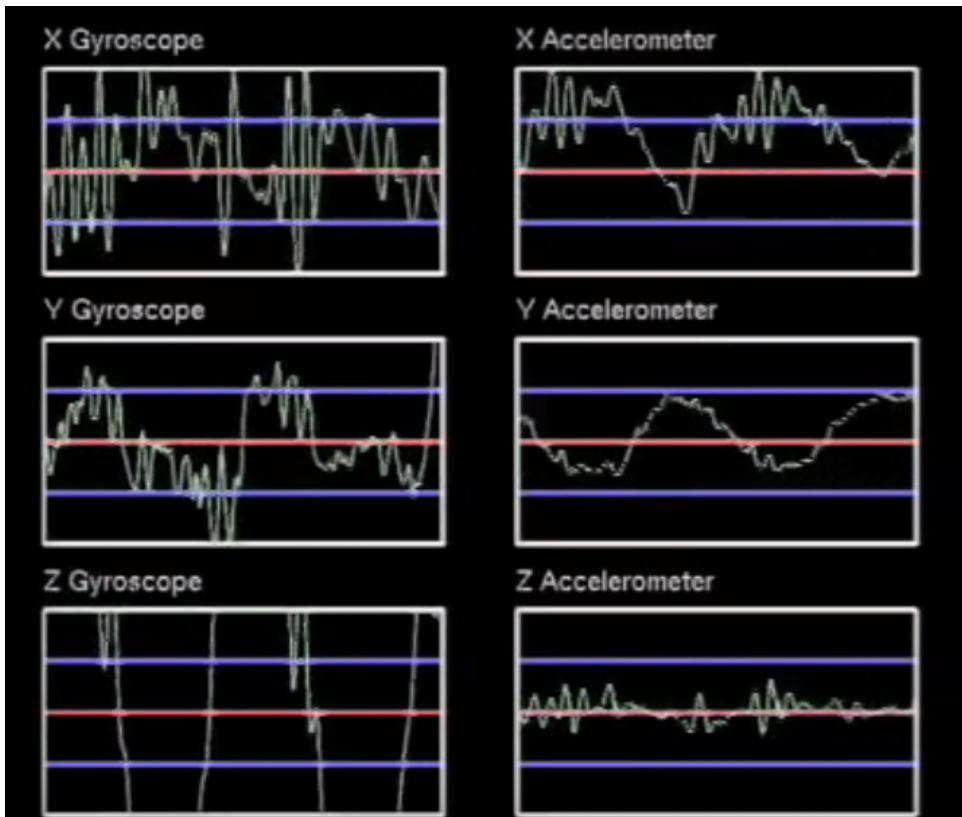
Apesar dos resultados promissores destes estudos, o uso destes sensores ainda requer que sejam contornadas diversas dificuldades intrínsecas à sua tecnologia. Uma destas dificuldades fica evidente na página sobre o MPU 6050 (o único INS disponível no Brasil em 2016) no website do Arduino: *Reading raw values is easy, the rest is not*². Os dados do acelerômetro contêm ruído quando a leitura é feita em intervalos curtos, e os dados do giroscópio têm escalas de tempo maiores, de modo que é preciso um filtro para estes dados. Além disso, os dados separados não trazem a informação completa sobre o estado do sistema (SACHS, 2010). A Figura 11 mostra a saída de um acelerômetro e de um giroscópio, e nela pode-se ver que ambos os sinais têm ruído. Sachs (2010) mostra como ambos componentes apresentam comportamentos não esperados em determinadas condições. Por exemplo, quando se faz um movimento muito rápido o acelerômetro ocorrem picos de aceleração que não deveriam existir, e quando se pára a movimentação, o giroscópio estaciona em (0,0,0).

Woodman (2007), ilustra uma estratégia para obter estes dados (Figura 12), e também aponta limitações desta solução: necessidade de filtragem do sinal em função do ruído produzido pelo equipamento; necessidade de correções do sinal (correção dos valores considerando a gravidade da Terra, que provavelmente não é desejada na maior parte das aplicações); acúmulo de erros devido ao cálculo da velocidade e posição em função da aceleração - que podem, segundo Gilbert, Celik e Malley (2010), introduzir erros intoleráveis em menos de 10 segundos de leitura.

Esta última limitação também é reconhecida pelos autores dos estudos usando INS no campo da natação. O erro oriundo da integração do sinal de um único acelerômetro para obtenção da velocidade (e integração dupla para obtenção da posição) é controlado, dentro do intervalo de tempo de interesse, através de diversos métodos de filtragem. Sage et al. (2010a), por exemplo, propôs o uso do Filtro de Kalman com identificação de máximos e mínimos de aceleração para identificação das voltas na piscina, o que possibilita que o filtro seja resetado a cada volta e a posição do atleta seja atualizada automaticamente adicionando-se o comprimento, conhecido previamente, da piscina. Stamm, James e Thiel (2013) utilizou um acelerômetro em repouso para medir o erro de integração para o intervalo de tempo da volta na piscina (considerado de no

² Ler valores brutos é fácil, o resto não (tradução livre)

Figura 11 – Leituras de um acelerômetro e de um giroscópio.



Fonte: (GILBERT; CELIK; MALLEY, 2010)

Figura 12 – Algoritmo para extração da posição e da velocidade.



Fonte: Adaptado de (WOODMAN, 2007)

máximo 40 segundos) como $0,08m/s^{-1}$, ou $0,002m/s^{-1}$ por segundo integrado, e conseguiu obter resultados similares de velocidade do atleta à medida pelo sistema de amarras.

3 PESQUISA COM USUÁRIOS

Foram realizadas pesquisas com usuários diretos ou indiretos do produto, ligados ao campo da natação. Nadadores, treinadores e pesquisadores foram entrevistados e suas necessidades levantadas. Uma síntese das categorias de usuário delineadas e suas necessidades é apresentada na seção 4.3.

3.1 Entrevistas com nadadores

Foi realizada uma série de oito entrevistas em profundidade com nadadores, de ambos os sexos e idades de 18 a 64 anos, em um campeonato amador. Buscou-se conhecer a relação dos nadadores com o esporte e com equipamentos para o esporte. Buscou-se orientar a entrevista através de tópicos pré-definidos, listados a seguir:

1. Qual a sua relação com a natação?
2. Qual seu objetivo com a natação?
3. Você se vê nadando em 10 anos?
4. Qual a parte mais importante do seu treino?
5. Qual a parte que você mais gosta no seu treino?
6. Há alguma parte do seu treino a que você gostaria de dar mais atenção?
7. Como ocorre o feedback do treinador durante seu treino?
8. Qual sua experiência com equipamentos para natação?
9. Qual sua experiência com gravação de vídeo durante treinos de natação?

A transcrição completa das entrevistas está presente no Apêndice C. Através dos pontos chave supracitados, buscou-se compreender possíveis demandas do grupo de usuários. Os resultados das entrevistas revelaram que poucos dos nadadores tiveram experiência com gravação de vídeo durante a natação, e nenhum de forma profissional (videogrametria). A experiência com vídeo descrita pelos usuário é similar à exposta na seção 4.2.1.1, utilizando apenas uma câmera. Os equipamentos utilizados pela maioria dos usuários eram básicos para o treino de natação (pés de pato, bóias, pranchas), e de propriedade de sua escola. Apenas um dos usuários (com mais de 60 anos), possuía um fitness tracker voltado para natação (da marca Garmin). A técnica de nado foi considerada quase unanimemente como parte mais importante do treino, e os entrevistados comentaram sobre a dificuldade de perceber se a técnica está sendo realizada corretamente

sem visualizá-la. O feedback dos treinadores sobre o nado ocorre costumeiramente depois do movimento, e não durante o mesmo, a não ser em casos em que esteja se treinando uma parte específica do nado (eg apenas viradas, apenas saltos).

3.2 Entrevista com treinador do GNU

A videogrametria é geralmente usada para analisar a performance de atletas profissionais em centros de treinamento como o Grêmio Náutico União (GNU), em Porto Alegre. Visitou-se o GNU para observar uma sessão de treinamento e entrevistar um dos treinadores da natação. Análises por vídeo conduzidas no centro utilizam o software Kinovea, com uma ou duas câmeras fora da água (o uso do Kinovea é descrito na seção 4.2.1.2). Esse método é menos robusto do que a videogrametria utilizada nas coletas do GPEA, mas tem um tempo de *setup* e análise mais curto, além de requerer menos equipamentos. Outro método utilizado no GNU é a gravação do treino com *delayed playback*, onde uma câmera grava o nado de um atleta e um monitor exibe a gravação com uma demora de três minutos, permitindo que o atleta saia da piscina e visualize a si mesmo nadando. O treinador também era familiarizado com os métodos de coleta utilizados no GPEA, e reconheceu que estes proviam informações mais detalhadas sobre a técnica de nado dos atletas. Porém, ele pontuou que: (i) a coleta precisaria ser feita fora do “habitat” dos atletas, o que influencia sua performance, e (ii) o tempo de análise de todos os atletas que treina seria tão grande que, até que os resultados fossem obtidos, a técnica dos nadadores já teria mudado. Portanto, ele reconheceu a utilidade do método para atletas de destaque, como os nadadores olímpicos que ele treina no GNU, mas dificilmente aplicável à todos os nadadores. O parecer final do treinador foi que há um *trade-off* entre profundidade da análise e praticidade, e que um método ideal uniria ambas qualidades.

3.3 Análise da tarefa com pesquisadores do GPEA

O software APAS (Ariel Performance Analysis System) é a ferramenta utilizada para análise biomecânica do nado pelo Grupo de Pesquisa em Esportes Aquáticos (GPEA) da UFRGS. Esta seção faz a análise da tarefa do uso deste software por pesquisadores (uma descrição do software pode ser encontrada na seção 4.2.1.3). O APAS utiliza vídeos capturados do movimento para gerar um modelo 3d do indivíduo (ou parte dele) analisado. Através deste modelo, é possível analisar as variações de posição, velocidade, aceleração e rotação dos segmentos do corpo. O uso do APAS pode ser dividido nas seguintes etapas: (i) Captura do movimento; (ii) Digitalização; (iii) Transformação, filtragem e análise.

3.3.1 Captura do movimento

O movimento analisado neste caso foi o ciclo de braçadas durante uma série de 400m, nado Crawl. O ciclo de braçadas foi capturado em quatro momentos, em diferentes pontos da

série, quando o atleta passou pela área filmada. O objetivo era medir a variação de velocidade do centro de gravidade do nadador durante o ciclo de braçadas. Para obter o centro de gravidade do nadador, estima-se a massa de cada segmento do corpo do mesmo: o nadador tira duas fotos, em pé, uma frontal e uma de perfil, e traçam-se os segmentos do seu corpo com um software específico, que calcula a massa dos segmentos do corpo baseado nos dois conjuntos de áreas. É possível também utilizar os valores padrão do APAS para massa dos segmentos do corpo, mas os pesquisadores do GPEA os consideram divergentes (na ordem de 5%) especialmente para a análise de nadadores mais baixos. As câmeras usadas para videogrametria devem ficar fixas em sua posição, o que limita a quantidade de movimento que pode ser analisada em um esporte de deslocamento, como a Natação, em comparação com um esporte como o lançamento de disco - onde todo o movimento do atleta ocorre dentro de uma pequena área delimitada. Para a coleta, o pesquisador do GPEA utilizou quatro câmeras subaquáticas, uma em cada canto de uma piscina de 25 metros, e duas fora d'água, nas duas bordas longitudinais. Todas as câmeras foram posicionadas com tripés (A Figura 13 mostra etapas do processo de preparo para a coleta de vídeo). O APAS permite a captura em tempo real de vídeo, através de um de seus módulos. Isso requer câmeras especiais que são ligadas umas às outras para sincronização. Outra opção é sincronizar os vídeos através de um evento capturado por todas as câmeras, como foi o caso nesta captura. O pesquisador do GPEA desenvolveu um dispositivo luminoso flutuante usando uma garrafa plástica, dois LEDs e uma folha de isopor. Após todas as câmeras serem posicionadas e colocadas para gravar, este dispositivo foi acionado à distância por um controle com fio, e fez os LEDs piscarem. Esse evento foi utilizado para sincronizar todos os vídeos. Para que a transformação da imagem bidimensional das câmeras em um modelo tridimensional possa ocorrer, o APAS precisa de uma calibragem da área gravada. Essa calibragem se dá informando ao APAS a coordenada real de pontos na imagem em cada uma das 6 câmeras. Para isso, o GPEA dispõe de uma dispositivo construído especificamente com este propósito: uma estrutura de canos metálicos interligados, com bolas de isopor fixadas em seus vértices. Essa estrutura é posicionada na área em que o movimento vai ocorrer, e, devido ao seu tamanho, se estende até acima da água. As câmeras gravam a imagem desta estrutura, e depois, o movimento do atleta. Como a distância das bolas entre si é conhecida empiricamente, ela pode ser usada como referencial de distância dentro das imagens gravadas pelos algoritmos de transformação linear direta do APAS.

3.3.2 Digitalização

De posse dos vídeos contendo o movimento, o pesquisador precisa convertê-los para o formato aceito pelo APAS (AVI, com codecs específicos). Na configuração usada no GPEA, esse procedimento acaba por aumentar significativamente o tamanho dos arquivos de vídeo em relação aos diretamente saídos da câmera, e o pesquisador reportou problemas com conseguir espaço em disco suficiente para armazenar os vídeos de todas as análises. Além da conversão, os vídeos são cortados para mostrar apenas o movimento a ser estudado. Embora o APAS ofereça

Figura 13 – Preparação para coleta de dados usando filmagem.

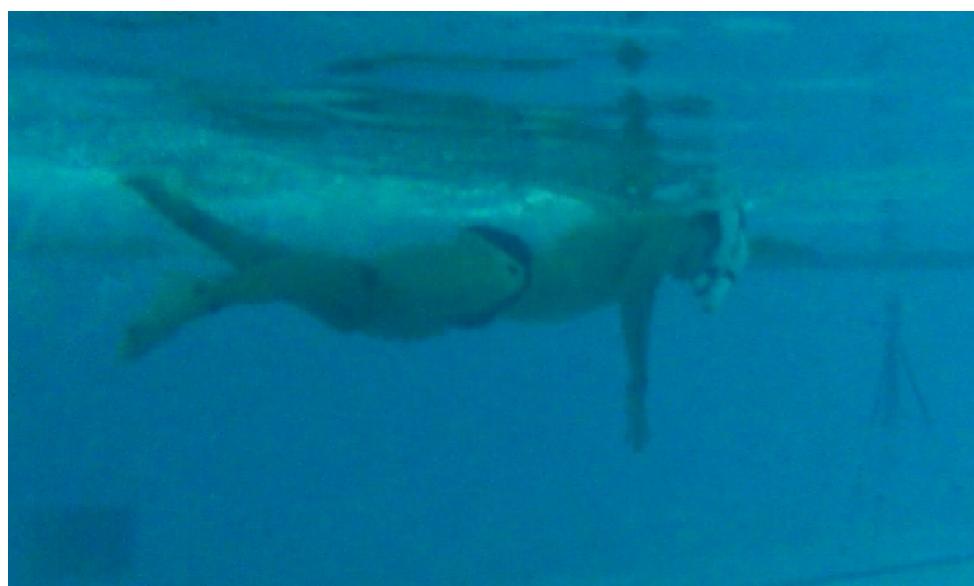


Fonte: O autor

a funcionalidade de corte, esse procedimento foi realizado em outro software. Se faz uso do dispositivo sincronizador para saber em qual quadro começar e terminar o corte (ie a 30 mil quadros após o piscar do LED começa o ciclo de braçadas). Os vídeos capturados precisam ter todos a mesma taxa de quadros por segundo (frames per second, abreviado fps), neste caso, 60fps. Além disso, foram usados 10 quadros de vídeo com a estrutura metálica posicionada no fundo da piscina para calibragem dos pontos de controle. Para essa calibragem, o pesquisador digitalizou os pontos de controle, clicando em cima deles em cada quadro em cada uma das seis vistas - neste caso foram usados 20 pontos de controle. Depois, ele informou ao software as coordenadas em três eixos ortogonais de cada um desses pontos (tomando um deles como zero e informando a distância conhecida dos outros até ele). O pesquisador também informou ao APAS a altura

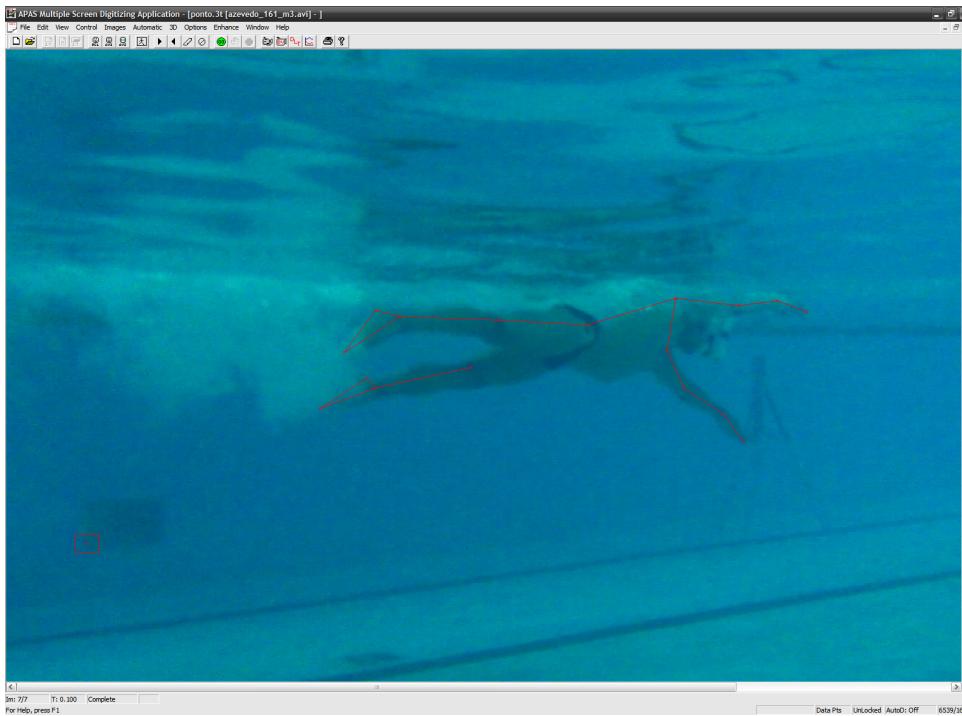
e peso do atleta, e utilizou a opção de entrar manualmente a massa de cada um dos segmentos do seu corpo, que foram calculados anteriormente. Depois, ele escolheu quantos e quais serão os pontos do corpo do atleta seriam digitalizados, neste caso, 19 pontos no corpo do atleta, e mais um ponto fixo na cena requerido para o funcionamento do programa (um dos cantos do ralo). Após o corte dos vídeos, calibragem, e informação dos dados do atleta e pontos, pode começar a digitalização em si. Para enxergar com mais facilidade os pontos para a digitalização, o pesquisador fez marcas com tinta preta no corpo do nadador antes da captura (Figura 14). O processo de digitalização manual começou com o primeiro quadro do vídeo de uma das seis câmeras sendo apresentado. Então, o pesquisador começou a marcar os pontos escolhidos no corpo do nadador, em uma ordem predeterminada escolhida por ele. O nome do ponto que ele deveria marcar aparecia no canto inferior esquerdo da tela, e quando marcado, dava lugar ao próximo (Figura 15). Caso um dos pontos não estivesse visível, ele poderia apertar a tecla “Esc” para pular sua marcação. Ao fim da marcação dos 20 pontos, ele passa para o próximo quadro, onde marcou novamente os 20 pontos, e assim por diante. A partir do segundo quadro, o APAS começa a utilizar a posição dos pontos no quadro anterior para transportar o mouse para mais perto de cada novo ponto, diminuindo o movimento necessário para marcar cada ponto. Para a análise deste pesquisador, foram capturados quatro ciclos de braçadas em seis câmeras. Cada ciclo de braçadas durou cerca de dois segundos, resultando, à uma taxa de 60fps, 120 quadros de movimento a ser digitalizado em cada câmera para cada ciclo. Isso soma um total de 2880 quadros. O pesquisador reportou que, ao começar a utilizar o APAS, demorava cerca de três semanas para digitalizar um ciclo de braçadas, trabalho que ele estimou conseguir realizar em uma semana atualmente (ou um mês para os quatro ciclos).

Figura 14 – Quadro da gravação de uma das câmeras, mostrando as marcas pintadas no corpo do atleta



Fonte: O autor

Figura 15 – Quadro com o movimento do atleta digitalizado manualmente



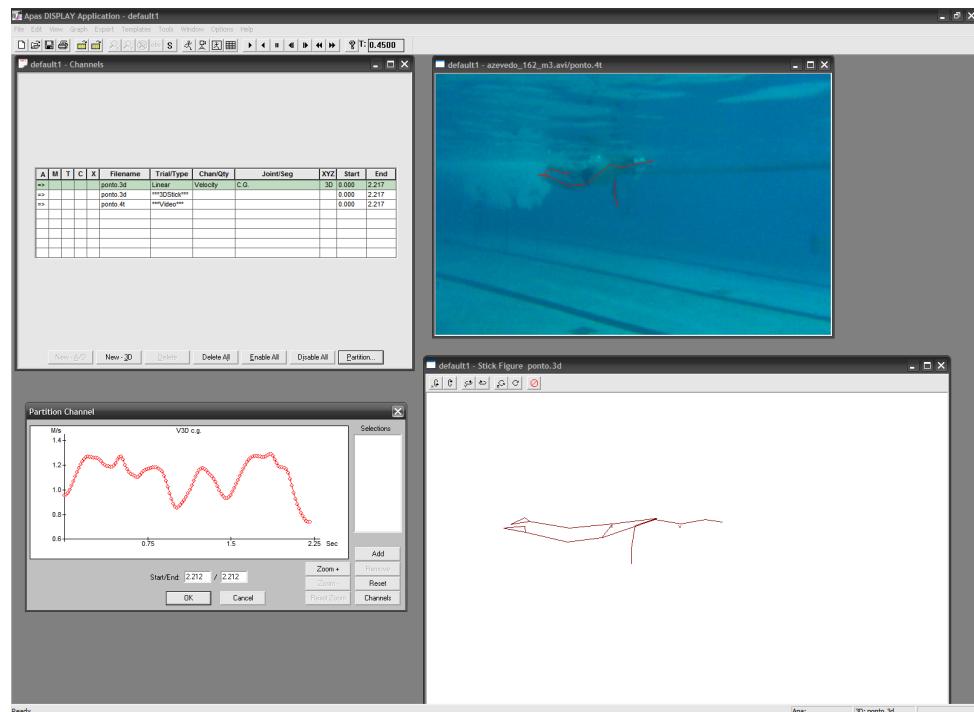
Fonte: O autor

3.3.3 Transformação, filtragem e análise

Após completar a digitalização do movimento em todas as câmeras, o módulo de Transformação do APAS foi usado para criar um modelo tridimensional do movimento. O módulo de Filtragem foi utilizado para diminuir ruídos nos dados obtidos. Por fim, os resultados puderam ser analisados. O APAS calculou a posição do centro de gravidade do nadador - que é dinâmico, alterando sua posição relativa ao corpo a cada quadro de acordo com a posição dos membros do atleta. Com essa posição quadro a quadro do centro de gravidade, o pesquisador pôde analisar a variação de velocidade do mesmo durante cada um dos quatro ciclos de braçadas. A variação de velocidade do centro de massa foi utilizada pelo pesquisador como indicador da eficiência do nado - quanto menor fosse essa variação dentro do ciclo, maior seria a eficiência natatória. Este é apenas um dos parâmetros que poderiam ser analisados com esta digitalização, já que ela abrangeu todos os membros do atleta (um requisito para que se calculasse o centro de gravidade). A Figura 16 mostra estes dados exibidos pelo software após a transformação. Outros parâmetros que poderiam ser analisados são: aceleração, velocidade e posição de cada um dos segmentos do corpo (ie mão direita); rolamento do corpo (embora o pesquisador tenha reportado que não conseguiu obter informações de rolamento devido à dificuldade de marcar os pontos corretos nos ombros do nadador). Além disso, dispositivos para medição do consumo de oxigênio e frequência cardíaca podem ser usados simultaneamente à captura (como foi neste caso), permitindo a correlação entre dados biomecânicos e fisiológicos. Para consumo de oxigênio, utiliza-se um snorkel especial, que é segurado acima da superfície por um sistema de cabos e polias especial.

Para a frequência cardíaca, é usada uma cinta peitoral.

Figura 16 – Interface do APAS mostrando a vista de uma das câmeras, o modelo tridimensional do movimento e um gráfico da velocidade do centro de gravidade do atleta ao longo do tempo



Fonte: O autor

4 CONCEITO

O conceito do produto é o arquétipo sobre o qual se desenvolverá o produto em si, e sua função é delimitar os esforços de desenvolvimento. No Método Double Diamond, o conceito é o entregável da segunda fase, Define.

4.1 Revisão do Objetivo geral

Partindo do Objetivo Geral do Projeto, “disponibilizar informações relevantes sobre a performance do atleta, para a melhora do seu desempenho”, a primeira parte deste trabalho se focou em descobrir quais seriam estas informações relevantes, através da revisão da literatura sobre Natação e entrevistas com usuários. As descobertas dessa primeira etapa (na fundamentação teórica e pesquisa com usuários) apontaram a técnica de nado do atleta como área mais relevante, e também revelaram formas como estas informações podem ser apresentadas. Como a técnica de nado é movimento, o Objetivo Geral pode ser dividido nos Objetivos específicos de “Capturar informações sobre o movimento” e “Apresentar informações sobre o movimento”. A importância da análise da técnica de nado se refletiu nos requisitos de produto estipulados posteriormente na seção 4.3. Os requisitos do produto são traduções das necessidades de usuários levantadas, e atendê-los é essencial para que o produto atinja o objetivo geral. Dessa forma, os requisitos podem ser utilizados como parâmetro para especificar como o produto atingirá esse objetivo, o que resulta no conceito do produto.

4.2 Análise de similares

Partindo do Objetivo Geral revisto, foram analisados similares do produto que cumpram a função de capturar e apresentar informações sobre o movimento do usuário. Estes foram divididos em duas categorias: videogrametria e INS, dependendo da técnica para captura do movimento que utilizam.

4.2.1 Videogrametria

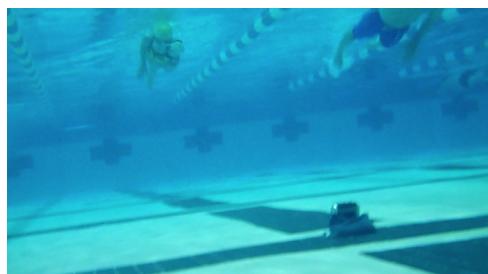
4.2.1.1 Câmera submersa

Atualmente, câmeras que podem ser utilizadas debaixo d’água se tornaram mais acessíveis para o público geral. Um exemplo deste tipo de produto é a linha GoPro, voltada para esportistas, e resistente à água. Durante as entrevistas em profundidade, um dos nadadores revelou ter usado uma câmera GoPro para gravar seus movimentos subaquáticos, e também de seus colegas - embora a prática não tenha sido repetida (ver Seção 3.1). RAINMAKER (2011), utilizou uma GoPro HD para filmar seus movimentos subaquáticos, com o intuito de analisar e

melhorar sua técnica. Para tanto, ele fixou a câmera em uma base plana e com pesos, e colocou-a dentro da água em uma piscina, no fundo e na mesma direção da raia em que nadava, a alguns metros da borda (Figura 17). Ele notou que esse posicionamento é útil para analisar a técnica do nado em si, mas não de viradas ou saídas - o que não era tão importante, como triatleta e nadando majoritariamente em águas abertas. Após colocar a câmera para gravar, ele prosseguiu com sua sessão de nado normalmente, e depois descarregou e analisou o vídeo em um computador (o modelo de GoPro utilizado por ele não possui um visor). Houve artefatos devido ao foco da câmera, que é automático, e devido à água. Este procedimento permite ver o movimento subaquático de forma geral, utilizando equipamentos de custo baixo, embora sem ter a precisão tridimensional de um setup multicâmeras. Outro aspecto é a necessidade de entrar em acordo com outros usuários da piscina, em caso de instalação da câmera em uma piscina pública.

Figura 17 – Câmera à prova d’água posicionada no fundo de uma piscina com pesos

(a) Câmera à prova d’água posicionada no fundo de uma piscina com pesos



(b) Quadro da gravação gerada pela câmera

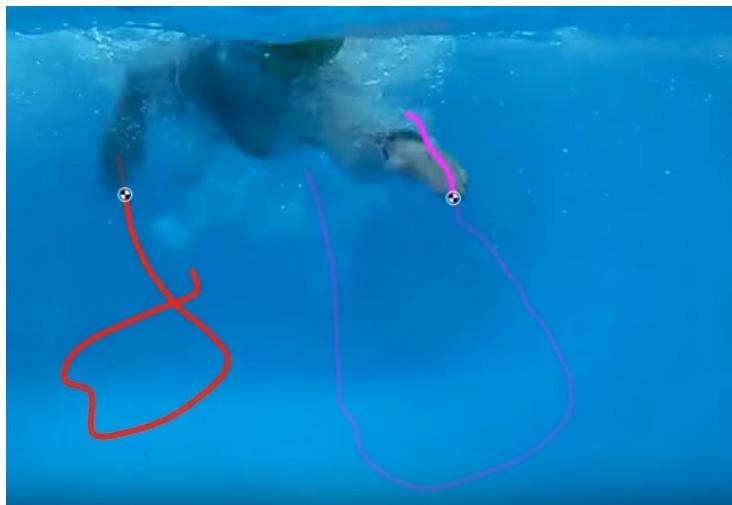


Fonte: (RAINMAKER, 2011)

4.2.1.2 Kinovea

O Kinovea é um software para análise biomecânica através de vídeo, gratuito e de código aberto. Seu funcionamento básico guarda similaridades com o APAS: captura-se o movimento em vídeo, esses vídeos são carregados para o software, e o movimento é digitalizado e analisado. Diferentemente do APAS, porém, o Kinovea não gera um modelo tridimensional a partir da digitalização de diferentes vistas. Isso torna possível utilizá-lo a partir de apenas um vídeo, mas ao mesmo tempo reduz a confiabilidade e escopo dos movimentos analisados: a calibragem de distâncias se dá bidimensionalmente, paralela ao plano da tela - ou seja, se um movimento ocorre no eixo perpendicular ao plano da tela, ele não será considerado na análise biomecânica. Essa limitação torna o uso do Kinovea para análise biomecânica restrito na natação, que é fundamentalmente composta de movimentos tridimensionais. Apesar disso, é possível utilizar as funções do software para marcação de ângulos e linhas no vídeo, em vista de facilitar o entendimento da técnica de nado (Fig. 18).

Figura 18 – Screenshot do software Kinovea.



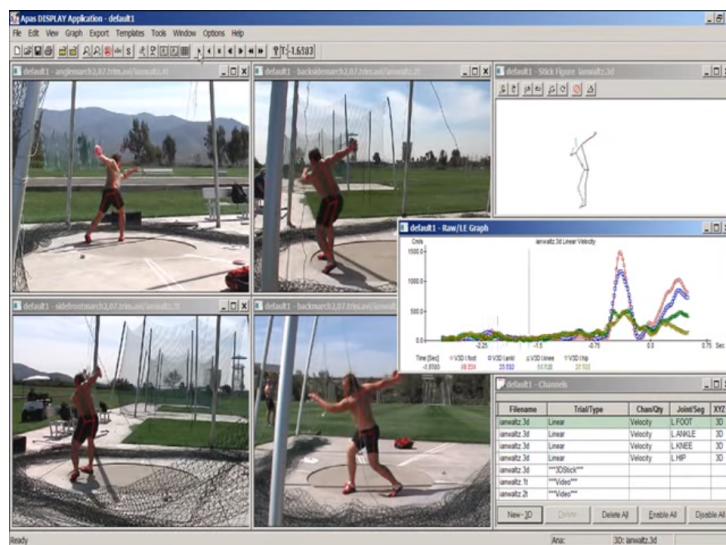
Fonte: (ADAMJTUK, 2011).

4.2.1.3 APAS

O APAS (Ariel Performance Analysis System) é um software para análise biomecânica através de vídeos. O programa é dividido em módulos, que permitem tratar os vídeos capturados e analisar os dados obtidos. A primeira fase da análise é a captura de dados, que se dá através de vídeos (provindos de no mínimo duas câmeras, para a criação de um modelo tridimensional, mas preferencialmente três ou mais). O módulo “Trimmer” permite sincronizar as vistas das câmeras, através de um dos seguintes métodos: (i) sincronização por evento, onde se busca o quadro em que um mesmo evento ocorre nos três filmes e sincroniza-se-os por ele (no tutorial, o evento é o quadro em que o disco deixa a mão do atleta); (ii) sincronização por hardware, onde as câmeras são ligadas entre si e sua assinatura de tempo é utilizada para sincronização. O segundo passo para a captura dos dados é a digitalização dos vídeos, que pode ser (i) através da digitalização automática do movimento, caso tenham sido utilizados marcadores no corpo ou vestimenta do atleta; ou (ii) através da digitalização manual, em casos onde não seja possível utilizar marcadores (como em competições, por exemplo). Para tanto, utiliza-se o módulo “Digitizing”. Nela, são informados (i) os pontos que serão utilizados para a digitalização (no caso da Figura 19: pés, tornozelos, joelhos, quadris, mãos, pulsos, cotovelos, ombros, queixo e testa, além do disco); (ii) a altura e peso do atleta, além do comprimento e massa dos membros; (iii) as coordenadas dos pontos de controle utilizados - que são pontos marcados no ambiente analisado para permitir a digitalização em três dimensões; e (iv) o número de câmeras utilizadas. Após isso, a digitalização manual pode começar, com o usuário do software clicando em cada um dos pontos informados em cada quadro do vídeo, em cada uma das vistas. Após a digitalização, utiliza-se o módulo “Transform” para transformar os dados coletados em um modelo tridimensional, automaticamente. O movimento é representado tridimensionalmente por um modelo do atleta composto por segmentos de reta que ligam os pontos marcados em cada quadro, lembrando um

“boneco de palitinho”. O modelo tridimensional gerado no módulo Transform pode apresentar ruído no movimento (ou seja, os segmentos tremem, e o movimento não é liso como no vídeo original), algo comum e resolvido por outro módulo, “Filter”. O módulo Filter filtra frequências altas no movimento, deixando as curvas de posição, velocidade e aceleração com picos e vales menos acentuados. Com os dados digitalizados filtrados, é possível utilizar o módulo “Display” para visualizá-los, tanto em forma de gráficos (de velocidade linear de cada ponto, por exemplo, em cada um dos componentes axiais ou tridimensional), na forma do “boneco de palitinho” e nos vídeos originais, simultaneamente (Figura 19).

Figura 19 – Interface do programa APAS demonstrando quatro vistas de um lançador de disco, um modelo tridimensional criado a partir delas e um gráfico da velocidade linear do pé, tornozelo, joelho e quadril esquerdos do atleta



Fonte: (ARIEL, 2012).

Uma análise da tarefa do uso do APAS para natação é exposta na seção 3.3.

4.2.1.4 *Swim Smooth*

Em contraponto aos similares de videogrametria previamente apresentados, a *Swim Smooth* integra a dimensão de serviço ao seu produto. A empresa australiana é especializada no treinamento de nadadores através de análise de vídeos. Treinadores certificados prestam o serviço de gravar e analisar o nado de atletas, de qualquer nível de habilidade. O procedimento começa com o treinador na borda da piscina capturando o movimento do atleta, utilizando um suporte especial que permite posicionar câmeras acima e abaixo d’água, que ele desliza pela piscina acompanhando o nado. Depois, o atleta e o treinador se reúnem fora da água e analisam os vídeos juntos, fazendo marcações em quadros onde necessário (Figura 20). Após isso, o atleta volta para a piscina, e o treinador demonstra como fazer as correções de técnica levantadas na análise. Por fim, o treinador dá ao atleta um plano de treinamento baseado em suas características pessoais.

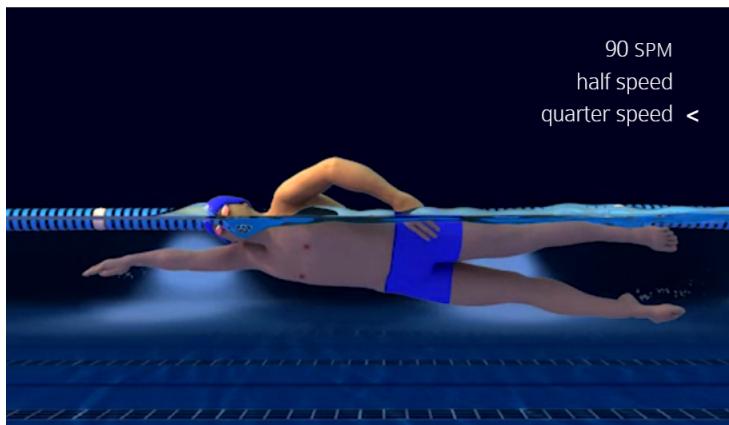
Figura 20 – Análise do vídeo capturado do nado de um atleta



Fonte: (SWIMSMOOTH, sem ano).

Além disso, a Swim Smooth disponibiliza um software gratuito para visualização do nado em três dimensões, através de um modelo criado por computador - chamado de Mr. Smooth (Figura 21). O software permite a visualização do nado em câmera lenta e de diversos ângulos, e uma opção de visualização sem a água.

Figura 21 – Mr. Smooth, um recurso tridimensional para a visualização do nado livre



Fonte: (SWIMSMOOTH, sem ano).

Por fim, a empresa disponibiliza o Swim Smooth Guru, um aplicativo multiplataforma (podendo ser usado em smartphones, tablets e computadores) que visa fornecer informações para embasar o treinamento dos usuários, visando agir como um treinador virtual. Está disponível em duas versões, com variação de preço. A versão mais barata é a Standard (assinatura de 2,99 dólares por mês), que contém vídeos com lições básicas de natação, e uma seção de erros comuns no nado e exercícios para corrigi-los. Além disso, o usuário tem acesso à uma database de vídeos contendo o nado de atletas profissionais, que, em computadores, podem ser navegados segundo a segundo ou quadro a quadro. A segunda versão, chamada PRO (assinatura 15,99 dólares por mês), amplia o conteúdo da versão Standard com diversos recursos: (i) um questionário para descobrir qual seu “tipo” de nadador, dentre 6 desenvolvidos pela empresa;

(ii) um plano de treinamento detalhado para o seu tipo específico; (iii) a sugestão de planos de treinamento dependendo dos objetivos do usuário (ie uma competição de triatlo em seis meses); (iv) a possibilidade de informar ao aplicativo o ritmo de nado alcançado na sessão de treinamento, que pode ser visualizado em forma de gráfico ao longo de várias sessões, e utilizado para prever o desenvolvimento do condicionamento do atleta; (v) acesso à streamings de sessões de treinamento na sede da Swim Smooth, em Perth, na Austrália, duas vezes por semana.

4.2.2 Sensores de Navegação Inercial

4.2.2.1 *Fitness trackers*

Fitness trackers são uma categoria de wearable voltada para quantificar o nível de condicionamento físico do usuário - geralmente medindo o quanto ativo ele é, daí o nome intercambiável de activity tracker (NIELD, 2016). A origem dos fitness trackers remonta ao uso do polígrafo no período entre guerras mundiais: um equipamento “detector de mentiras” baseado em sensores que mediavam a resposta galvânica da pele (GSR - galvanic skin response) na ponta dos dedos de um usuário (em outras palavras, o quanto suadas estavam as palmas de suas mãos). Em 1965, foi inventado o pedômetro Manpo-kei, no Japão, como uma tentativa de combater a obesidade - o pedômetro impelia os usuários a darem 10 mil passos por dia, e informava uma estimativa do gasto calórico resultante. Em 1982 foi lançado o Polar Sports Tester PE 2000, em forma de relógio de pulso - predecessor aos fitness trackers atuais - e primeiro a informar o usuário sobre seu batimento cardíaco através do visor de um relógio. A tecnologia de GPS também começou a ser utilizada em trackers depois de sua abertura para uso civil, em 1996. Acelerômetros, que começaram a ser implantados em carros para o uso de airbags 1971 se tornaram acessíveis ao público em geral através de celulares, em 2005, com o Nokia 5500 Sport. Acelerômetros tri-axiais, que permitem a identificação de movimento em três eixos, são utilizados por todos os fitness trackers atuais (AXWORTHY, 2016). A forma básica de funcionamento de um fitness tracker pode ser dividida em três fases: (i) captura de dados; (ii) processamento e (iii) apresentação da informação (NIELD, 2016). A captura de dados por um fitness tracker se dá através de sensores. Estes sensores podem medir parâmetros mecânicos (aceleração e rotação) ou fisiológicos (frequência cardíaca e resposta galvânica da pele). A segunda fase é a de processamento, onde os dados brutos coletados passam por algoritmos que têm dois objetivos: diminuir o ruído das leituras dos sensores e reconhecer padrões nos dados brutos coletados (por exemplo, reconhecer que o usuário deu um passo através das leituras de um acelerômetro). Cada fitness tracker utiliza algoritmos diferentes para estes procedimentos, o que explica porque dois trackers diferentes raramente registram exatamente as mesmas atividades, e reafirma os achados da fundamentação teórica, na seção 2.6.2.2:

"Pense sobre estar em um concerto. Você acabou de fazer, do seu lugar na platéia, uma gravação medíocre com um gravador de fita de uma ótima performance. Junto com a música, o gravador capta todo tipo de barulho à sua volta: seu pé batendo, conversas, interações... se você quisesse transformar essa gravação

medíocre em uma gravação de qualidade da música, teria de eliminar tanta destes sons indesejados quanto possível."(Phillipe Kahn apud (NIELD, 2016))

A terceira fase é a apresentação dos dados, que pode ocorrer tanto no próprio dispositivo, caso este possua um display, ou - e mesmo que ele possua - em um aplicativo de smartphone, que a maioria dos fitness trackers possuem. O aplicativo tem uma interface que informa os dados pré-processados coletados pelo wearable, para que o usuário possa fazer uso dos mesmos. Além disso, existem aplicativos que utilizam os próprios sensores presentes nos smartphones atuais para mensurar a atividade do usuário - especialmente pedômetros. O funcionamento destes aplicativos é similar a de um wearable dedicado, e ainda passa pelas três fases descritas acima (NIELD, 2016). Na natação, os fitness trackers são utilizados para informar o usuário sobre diversos parâmetros do movimento. Alguns deles são: (i) Voltas dadas na piscina, considerada uma métrica básica no treinamento de natação, seria o equivalente de contagem de passos ou distância percorrida em uma caminhada ou corrida - é necessário que o usuário informe ao tracker o comprimento da piscina; (ii) Ritmo, a distância percorrida dividida pelo tempo. Em águas abertas é necessário usar um GPS; (iii) Taxa de braçadas, que informa quantas braçadas o usuário dá para percorrer determinada distância ou por minuto, um parâmetro importante para o conhecimento da eficiência da braçada e da técnica do nado em geral; (iv) SWOLF (Swim Golf), uma métrica combinada de velocidade e esforço que é obtida somando o tempo em segundos que o usuário leva para nadar um comprimento da piscina com o número de braçadas que ele realizou para tanto - quanto menor o score, maior a eficiência do nadorackers (JARY, 2016). Para conseguir apresentar esses dados, os fitness trackers fazem uso de algoritmos específicos para natação. Além disso, precisam ser resistentes à água - e podem perder algumas funcionalidades: leitores ópticos de frequência cardíaca não funcionam para leituras submersas. É comum que um fitness tracker possa ser utilizado para coletar dados em diversos esportes (SUNG, 2016). A Tabela 1 faz uma comparação das funcionalidades de diferentes fitness trackers que podem ser usados embaixo d'água:

Além dos fitness trackers em formato de relógio, existe um número menor de trackers em forma de vestimentas que exploram outras funcionalidades além de acelerômetros e monitores cardíacos: (i) O Athos é um wearable voltado para musculação em forma de camiseta e shorts de ginástica, que se utiliza de eletromiografia (EMG) para medir a atividade dos maiores grupos musculares do corpo, envia esses dados para um aplicativo de smartphone através de Bluetooth; (ii) A Hexoskin é uma camiseta que possui sensores cardíacos, sensores de respiração e um acelerômetro e que é capaz de coletar diversos dados fisiológicos do usuário, como VO2 máximo, frequência cardíaca máxima, tempo de recuperação, e o dado mecânico de contagem de passos; (iii) O OMbra é um top de ginástica com sensores cardíacos e de respiração, além de um acelerômetro, feito especialmente para atender o público feminino. Também existe em versão masculina na forma da camiseta OMshirt (MICHAEL, 2016).

Tabela 1 – Comparação entre wearables para natação

Parâmetro medido	AvidaSports AvidaMe- trics	FINIS Swimsense	Garmin Swim	Swimovate PoolMate- Pro
Tempo	x	x	x	x
Identificação da braçada	x	x	x	
Contagem de braçadas	x	x	x	x
Ritmo de braçadas	x	x	x	
Tempos parciais	x	x	x	
Distância por braçada	x	x		
Breakout	x			
Velocidade média	x	x	x	x
Contador de pernadas	x			
Ritmo de pernadas	x			
Contador de voltas		x	x	x
Eficiência				x
Intervalos		x	x	x
Distância		x	x	x
Calorias		x	x	x

Fonte – Adaptado de Mooney et al. (2015)

4.2.2.2 MVN Link e MVN Awinda

A Xsens é uma empresa holandesa focada na utilização de sensores inerciais para a captura de movimentos. As três áreas principais de atuação da Xsens são: módulos de sensores inerciais, análise do movimento humano, e animação de personagens 3D. Embora todas as áreas se utilizem da mesma tecnologia de sensores inerciais, a primeira é mais voltada à aplicações industriais e máquinas, enquanto as duas últimas são voltadas ao uso por humanos. A empresa desenvolveu dois sistemas vestíveis para captura de movimentos: O MVN Link e o MVN Awinda, ambos baseados em sensores inerciais (acelerômetros e giroscópios). A diferença principal entre eles é que o MVN Link possui os 17 sensores interligados entre si, com apenas uma bateria, com os sensores e fiação sendo colocados e roteados dentro de bolsos em um macacão de lycra, enquanto o MVN Awinda mantém os 17 sensores separados, com 17 baterias, em uma combinação de cintas ajustáveis, luvas, faixa para cabeça, sapatos e camisa. O uso do MVN começa com sua colocação no corpo do usuário que irá realizar o movimento a ser capturado. No Link, o usuário veste um dos 5 tamanhos de macacão disponíveis, coloca os sensores nos bolsos respectivos e liga e passa os fios por dentro da roupa, e depois liga os sensores adicionais nos sapatos, luvas e faixa para cabeça aos fios respectivos. No Awinda, veste as 9 cintas ajustáveis (braços, pulsos, coxas e panturrilhas, além de lombar) camisa, luvas e faixa para cabeça, e depois aciona e insere nestas peças os sensores inerciais (que são marcados e não substituíveis

entre posições), além de dois sensores dentro da parte superior dos sapatos. Afora isso, como o funcionamento de ambos é igual, iremos nos referir ao produto como MVN. Após vestir os sensores, estes devem ser reconhecidos pelo software, instalado em um computador, e conectado a um receptor especial. Depois, o sistema é calibrado, informando-se ao software as medidas do usuário (altura, comprimento do pé, envergadura, altura do tornozelo, altura do quadril, largura do quadril, altura do joelho, largura dos ombros e altura da sola do sapato), e fazendo-o ficar parado em uma posição padronizada (chamada de “n-pose”): em pé, com os braços ao longo do corpo e pés levemente afastados (Figura 22). Os sensores se comunicam via Wi-fi com o receptor e este com o computador, que cria uma representação tridimensional do usuário em tempo real (Figura 23). Essa representação pode ser exportada para outros softwares de modelagem 3D, ou os dados (ie rotação, posição e velocidade dos membros) podem ser exportados para o Excel. Há também uma versão alternativa do software, voltada para análises biomecânicas, chamada Xsens BIOMECH Studio (Figura 24).

Figura 22 – Poses de calibragem do MVN



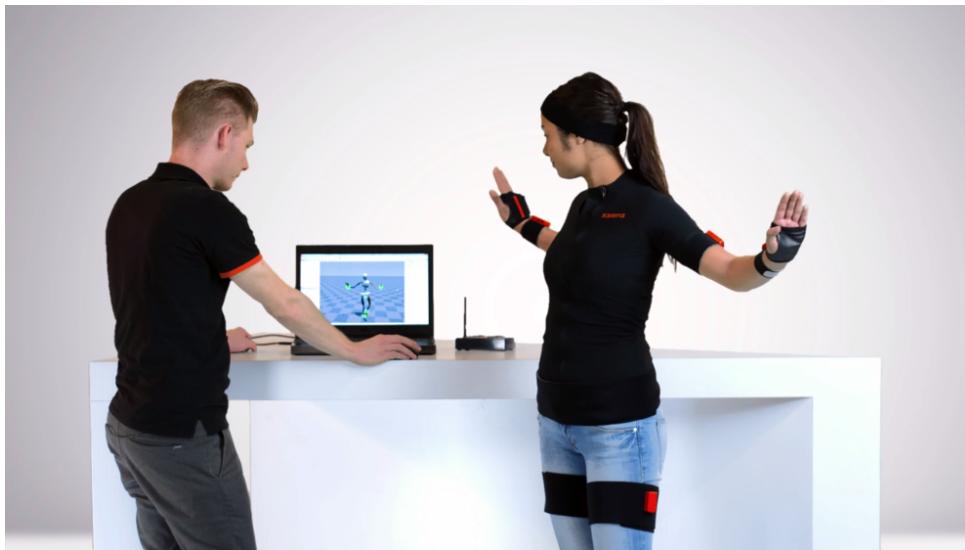
Fonte: (XSENS, sem ano)

4.2.3 INS em pesquisas científicas

A Figura 25 mostra os posicionamentos mais comuns para sensores na pesquisa de natação. Destes wearables, poucos visam obter a velocidade instantânea - levantados na fundamentação teórica (ver Seção 2.6.2.2) - e nenhum o rolamento do corpo, similarmente aos fitness trackers analisados. Em geral, estes wearables não são produtos comerciais, e sim subprodutos da pesquisa acadêmica. Portanto, aspectos como fixação no corpo do atleta e usabilidade não foram considerados aprofundadamente. A Figura 26 mostra alguns exemplos dos dispositivos: com exceção do protótipo de Dadashi, todos foram fixados com fita adesiva no nadador, para testes. Dadashi também é o único a utilizar um IMU *standalone*, comercialmente disponível, o Phisylog (Fig. 26e), cujo modelo de base custa 1499 francos suíços¹.

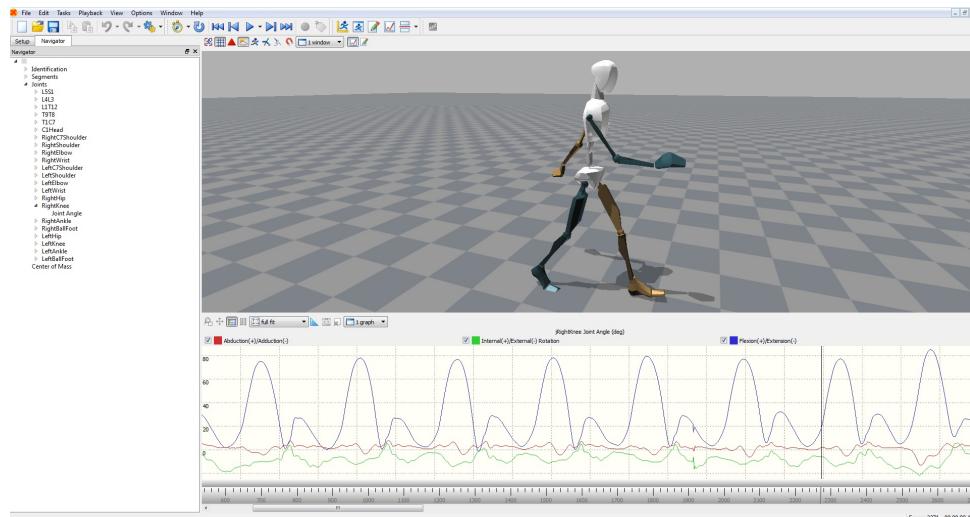
¹ Aproximadamente 5,348 reais, em Junho de 2016 (GAITUP, sem anob)

Figura 23 – Software MVN Studio capturando o movimento e o representando tridimensionalmente em tempo real



Fonte: (XSENS, sem ano)

Figura 24 – Interface do software MVN BIOMECH Studio, para análise biomecânica

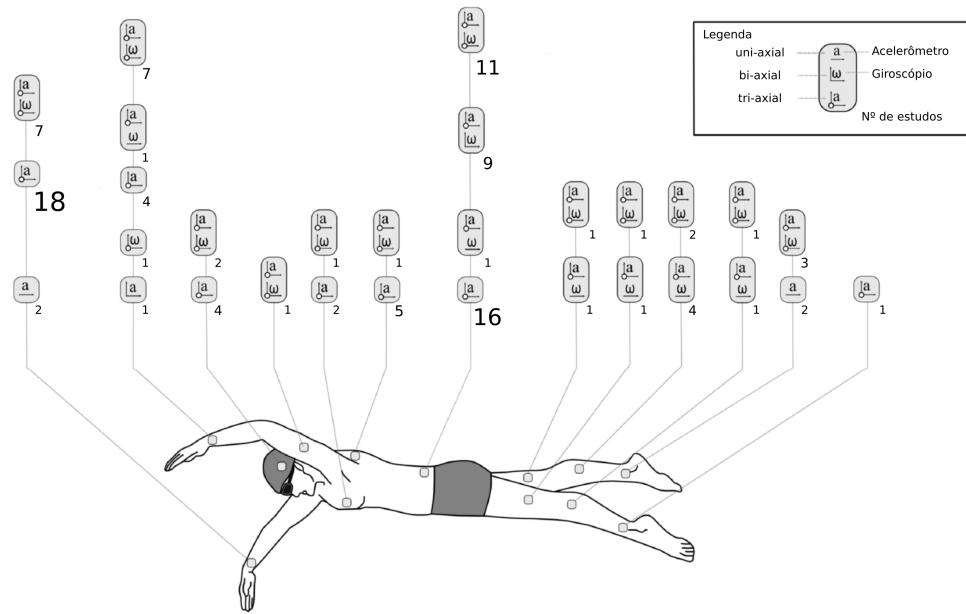


Fonte: (XSENS, sem ano)

4.3 Requisitos do produto

As necessidades dos usuários levantadas na fase de pesquisa foram categorizadas e transformadas em requisitos para o produto a ser desenvolvido. Para isso, o público alvo foi dividido em grupos de stakeholders, através de um mapeamento. O grupo principal são nadadores, que podem ser divididos em três subgrupos: (i) aprendizes, pessoas de todas as idades que estão começando a praticar o esporte; (ii) competitivos, que são nadadores que já aprenderam os fundamentos e continuam treinando regularmente e participando em competições; e (iii) recreativos, que são nadadores que não tem tanto interesse em melhorar sua performance, mas

Figura 25 – Quantidade de wearables e tipos de sensores posicionados em cada segmento do corpo em pesquisas de natação



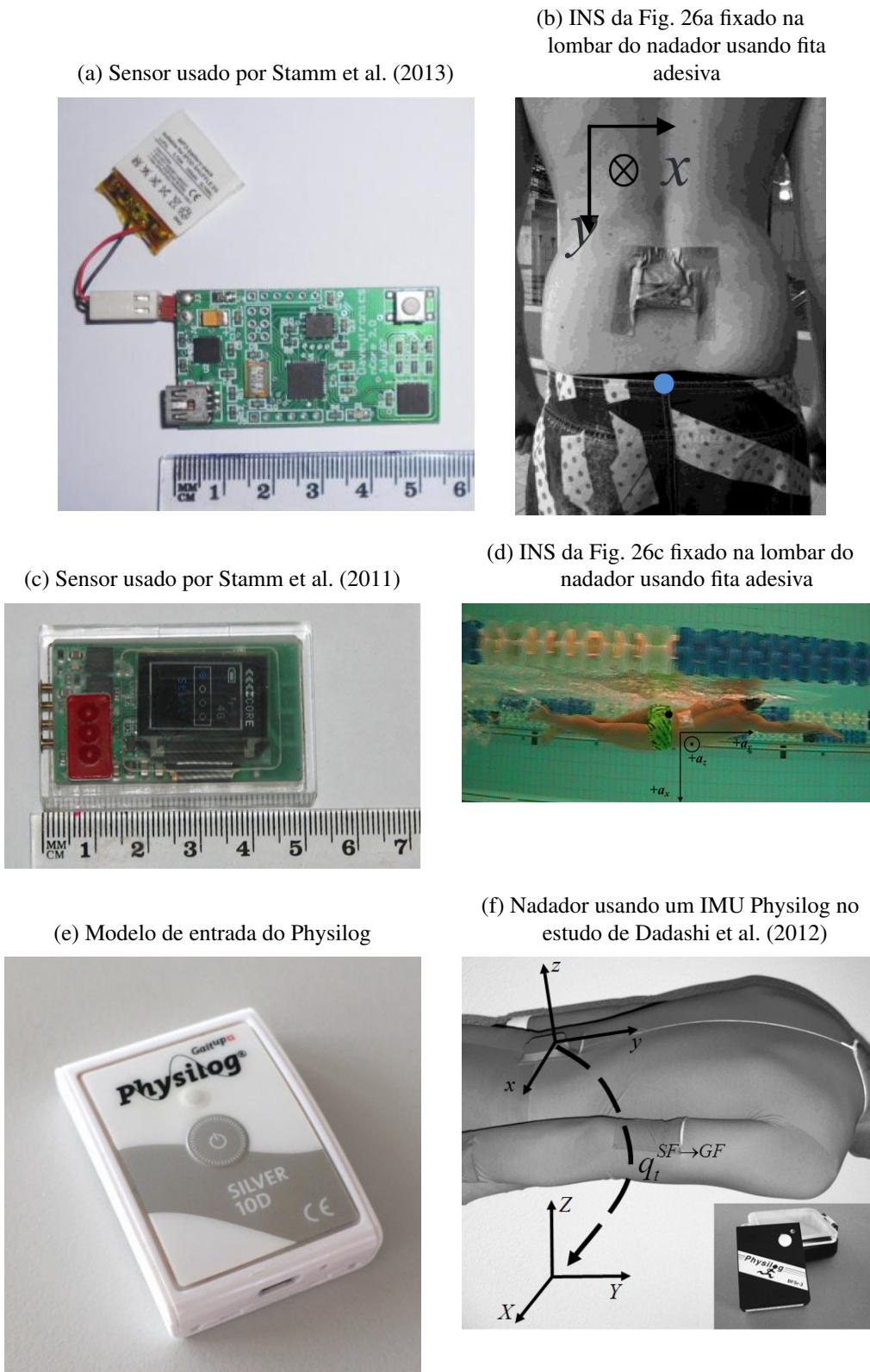
Fonte: Adaptado de (MOONEY et al., 2015)

nos benefícios de saúde da prática de natação. Além deste grupo principal, foram determinados outros dois grupos secundários de stakeholders: treinadores, que participam do aprendizado e treinamento dos usuários principais; e pesquisadores, que coletam informações do nado dos usuários principais para auxiliar no avanço da ciência do esporte.

Necessidades comuns aos três grupos de stakeholders:

- Representação visual - é desejável que os usuários tenham acesso à representação visual do movimento, durante ou após a realização do mesmo. Para os três grupos de nadadores e treinadores, a visualização do movimento auxilia a compreensão do mesmo. A representação visual do nado pode ser usada como ferramenta de ensino, ao ser comparada com um modelo de referência, e pode servir como indicador da evolução da técnica de nado. Além disso, a representação serve para tornar mais assertiva a retroalimentação extrínseca do nadador. Para treinadores e pesquisadores, a visualização do movimento permite a coleta empírica do estilo de nado de um nadador. Isso pode ser utilizado para embasar teorias de como os nadadores se movimentam, e eventualmente levar à sugestão de mudanças na forma como se deve nadar.
- Quantificação da performance - os usuários fazem uso de diversos parâmetros quantitativos para mensurar sua performance. Obtê-los automaticamente economiza o tempo de obter essas informações da representação visual, ou de contá-los manualmente durante a realização do movimento (no caso de voltas e braçadas). A apresentação destes parâmetros provê pontos chave da sua performance de forma rápida e facilmente comparável.

Figura 26 – Protótipos de wearables para captar velocidade instantânea



Fonte: (STAMM et al., 2013), (STAMM et al., 2011), (DADASHI et al., 2012), (GAITUP, sem anob)

- Análise biomecânica - os usuários querem realizar a análise biomecânica do movimento do nadador, possibilitando a prescrição de possíveis correções de técnica visando melhorar sua eficiência. Para pesquisadores, a análise biomecânica permite a obtenção de dados de performance que não são normalmente visíveis, tais como aceleração, velocidade e ângulo das partes do corpo do atleta. A forma como essas variáveis se relacionam com a eficiência de nado do atleta ajudam a entender como a técnica de nado influencia a performance do mesmo.

Necessidades de treinadores (T) e nadadores (N):

- Facilidade de utilização - a maioria dos usuários entrevistados têm tempos de treino curtos, de menos de uma hora. Assim, qualquer equipamento ou técnica utilizada durante o treinamento deve ser sensível à limitação de tempo, procurando não diminuir significativamente o tempo útil do treino na sua preparação. Além disso, a retroalimentação dos treinadores aos nadadores deve idealmente ocorrer na mesma sessão de treinamento.
- Acessibilidade - nas entrevistas, foi notado que o uso de equipamentos em aulas e treinos de natação é limitado pelo seu custo. O uso de equipamentos de alto custo é restrito a um número muito pequeno de usuários, e geralmente é voltado para a pesquisa acadêmica e para centros de treinamento de atletas de elite, e não para o público geral.

Necessidades de nadadores (N):

- Feedback proprioceptivo (aprendiz) - a propriocepção é considerada um aspecto de vital importância para o aprendizado de natação (como visto em). Para os usuários que estão aprendendo a nadar, é importante que a retroalimentação extrínseca recebida, por exemplo, do treinador e a retroalimentação intrínseca da sensação do movimento estejam alinhadas e permitam ao nadador compreender a forma correta de realizar o movimento.
- Comunicação com treinador à distância (competitivo) - alguns usuários treinam com frequência, mas nem sempre junto com treinadores, e é importante comunicarem-se com o mesmo para obter retroalimentação sobre a performance e discutir planos de treinamento. Isso também é importante para usuários mais velhos, que consideram a comunicação com o treinador mais relevante (como visto em).
- Flexibilidade - os usuários podem nadar em diferentes piscinas: alguns têm piscinas próprias onde treinam diariamente e treinam em uma escola de natação apenas eventualmente. Outros buscam sempre ter onde praticar (especialmente competitivos), mesmo que estejam fora de suas cidades - ou até mesmo em outros pontos de sua própria cidade.
- Sociabilidade (recreativos) - a função social da natação é um ponto de especial importância para nadadores mais velhos (como visto na análise das entrevistas). Estes usuários fazem

Tabela 2 – Tradução das necessidades dos usuários em requisitos do produto

Grupo de usuários	Necessidade do usuário	Requisito do produto
T + P + N	Representação visual	Provê representação visual do movimento
	Quantificação da performance	Detecta e quantifica automaticamente parâmetros de performance
	Análise Biomecânica	Possibilita a análise biomecânica do nado
T + N	Facilidade de Utilização	Requer baixo tempo de preparo (considerar que uma aula de natação tem 45 minutos)
	Acessibilidade	Permite retroalimentação na mesma sessão de treino
N	Feedback proprioceptivo	É acessível para uso em escolas de natação
	Comunicação com treinador à distância	Faz uso da infraestrutura existente
	Flexibilidade	Não dificulta demasiadamente o movimento
	Sociabilidade	Permite compartilhamento de informações por meio digital

Fonte – Desenvolvido pelo autor

mais questão de comunicar-se com o treinador e com o grupo de colegas do treino de natação.

Essas necessidades podem ser traduzidas em termos de requisitos do produto (Tabela 2).

Sendo assim, chegamos aos seguintes requisitos funcionais do produto:

1. Prover representação visual do movimento. O produto deve gerar uma representação visual do movimento, que pode ser visualizada em plataformas já existentes (formato acessível).
2. Detectar e quantificar automaticamente parâmetros de performance. O produto deve ser capaz de detectar e quantificar automaticamente braçadas e voltas, além de identificar o estilo de nado. Deve também ser capaz de calcular a velocidade de nado de cada volta (com base na distância pré-conhecida e tempo).
3. Possibilitar a análise biomecânica do nado. Isso se dá através da captura dos dados necessários do movimento natatório: aceleração e rotação dos segmentos do corpo, e permitir que o usuário informe as variáveis específicas necessárias (ie peso e altura do nadador).
4. Requerer pouco tempo de preparo para o uso.

5. Permitir retroalimentação na mesma sessão de treino. O uso do produto não deve tomar demasiado tempo, para facilitar o processo de aprendizado com retroalimentação rápida.
6. Ser acessível para uso em escolas de natação.
7. Fazer uso da infraestrutura existente. O produto não requer adaptações estruturais às piscinas e centros de treinamento já existentes.
8. Não dificultar demasiadamente o movimento, O uso do produto não deve inviabilizar o movimento natatório, ou interferir demasiadamente na sua execução. De fato, este requisito atinge todos os grupos de usuário, portanto seu peso nas comparações (explicadas adiante nesta seção) é 3.
9. Permitir compartilhamento de informações por meio digital.
10. Ser intercambiável entre piscinas. Pode ser facilmente adaptado e transportado de uma piscina para outra, mesmo que de tamanhos diferentes.
11. Não interferir no uso da piscina. O uso do produto não deve impossibilitar o andamento normal de uma sessão de treino, com a piscina sendo utilizada por diversos usuários simultaneamente. Este requisito é relevante para treinadores e nadadores, portanto seu peso nas comparações é 2.

Esses requisitos foram utilizados para comparar os similares levantados no capítulo 4.2, visando explicitar qual arquétipo mais atenderia aos requisitos do produto. Entretanto, para a utilização dos requisitos nessa comparação, eles foram revisados de forma a poderem ser delimitados de forma objetiva e usados como requisitos booleanos (que podem apenas ser atendidos ou não ser atendidos) (Tabela 3).

4.3.1 Comparação dos similares de acordo com os requisitos do produto

Os requisitos revisados foram ponderados de acordo com o número de stakeholders a que atendem (derivado das necessidades dos usuários - nota-se que não dificultar demasiadamente o movimento foi considerado de peso 3 e não interferir no uso da piscina de peso 2. A Tabela 4 apresenta os requisitos, pesos e se os similares analisados os cumprem ou não. Um somatório dos requisitos completados por cada similar é apresentado na última linha da tabela. Esse somatório serve como direcionamento para a definição do conceito do produto.

Na Tabela 4, chama a atenção o fato que apenas o Xsens MVN cumpre os requisitos de maior valor - representação visual, detecção e quantificação de parâmetros de performance e análise biomecânica - ao mesmo tempo. Isso pode ser explicado com base nas tecnologias usadas nos dois grupos principais de similares: INS, Inertial Navigation System (wearable comercial e MVN) e videogrametria (nos demais). O uso de sensores iniciais nos fitness trackers permite a detecção de parâmetros de performance automaticamente, através de algoritmos que

Tabela 3 – Revisão dos requisitos do produto para facilitar a comparação entre similares

Requisito de produto	Requisito reescrito como pergunta booleana
Prover representação visual do movimento	Provê representação visual do movimento?
Detectar e quantificar automaticamente parâmetros de performance	Detecta e quantifica automaticamente parâmetros de performance?
Possibilitar a análise biomecânica do nado	Possibilita a análise biomecânica do nado?
Requerer baixo tempo de preparo	Requer tempo de preparo para o uso menor do que 10 minutos?
Permitir retroalimentação na mesma sessão de treino	Processa e apresenta os dados capturados em menos de 10 minutos?
Ser acessível para uso em escolas de natação	Tem um custo inferior a uma anuidade em uma escola de natação (R\$ 1200)?
Fazer uso da infraestrutura existente	Faz uso da infraestrutura existente?
Não dificultar demasiadamente o movimento	Não dificulta demasiadamente o movimento?
Permitir compartilhamento de informações por meio digital	Permite compartilhamento de informações por meio digital?
Ser intercambiável entre piscinas	É intercambiável entre piscinas?
Não interferir no uso da piscina	Não requer que demais usuários piscina tenham que interromper ou modificar suas atividades?

Fonte – Desenvolvido pelo autor

traduzem os dados capturados pelo acelerômetro e giroscópio em eventos (por exemplo, uma braçada). Essa detecção de eventos varia de produto para produto, e nem sempre é fiel, mas é utilizada por todos os fitness trackers (ver seção 4.2.2.1). Já na videogrametria, algoritmos para reconhecimento automático de eventos são muito mais complexos - é necessário converter uma imagem bidimensional em dados quantitativos - e, para sua utilização, requerem marcadores muito claras no atleta (geralmente, lâmpadas de LED). Analogamente, os INS não conseguem facilmente traduzir os dados quantitativos que capturam em imagens do movimento - o que a videogrametria realiza por definição (embora a qualidade da imagem possa sofrer variação e até dificultar a análise, como visto na seção 3.3), especialmente quando o número de sensores é restrito. Esse é o caso da maioria dos wearables, que contém apenas um acelerômetro e giroscópio, geralmente utilizado no pulso. O Xsens MVN é uma exceção, contendo 17 sensores iniciais espalhados em pontos chave do corpo (ver seção 4.2.2.2), embora tendo um custo exponencialmente maior.

Essa comparação é útil pois através da Fundamentação Teórica e Análise de Similares, tornou-se evidente a existência de duas categorias distintas de soluções para o objetivo específico de Captura do Movimento: (i) através de vídeo e (ii) através de sensores iniciais. Como visto na Fundamentação Teórica, essas duas formas de capturar o movimento existem em muitas áreas além da natação, e distinguem-se pela tecnologia que utilizam. Na captura do movimento através

Tabela 4 – Análise ponderada dos similares de acordo com os requisitos do produto

Requisito	Peso	Fitness tracker	Xsens MVN Awinda ¹	APAS	Câmera submersa	Kinovea
Provê representação visual do movimento	3		x	x	x	x
Detecta e quantifica automaticamente parâmetros de performance	3	x	x			
Possibilita análise biomecânica	3		x	x		x
Não dificulta demasiadamente o movimento	3	x	x	x	x	x
Requer tempo de preparo para uso menor do que 10 minutos	2	x			x	x
Processa e apresenta os dados capturados em menos de 10 minutos	2	x	x		x	
Tem custo inferior a uma anuidade em uma escola de natação (R\$ 1200)	2	x			x	x
Faz uso da infraestrutura existente	2	x	x	x	x	x
Não requer que demais usuários da piscina tenham que interromper ou modificar suas atividades	2	x	x			
Permite compartilhamento de informações por meio digital	1	x	x	x	x	x
É intercambiável entre piscinas	1	x	x		x	x
Somatório normalizado	100%	75%	83%	50%	66%	70%

Fonte – Desenvolvido pelo autor

¹ – O Xsens MVN Awinda precisa de adaptações para poder ser utilizado embaixo d'água

de vídeo, representada na Tabela 3 pelos softwares APAS e Kinovea, além do uso diretamente de uma câmera submersa, o movimento de um nadador na piscina é capturado em vídeo por um número variável de câmeras, e posteriormente analisado. Essa análise pode ser do vídeo em si (utilizando recursos como câmera lenta e avanço quadro-a-quadro, como na Câmera submersa), ou do vídeo “aumentado” (através de marcações visuais do movimento, no Kinovea, e culminando no cálculo de aceleração, velocidade, posição e rotação dos membros do atleta, no APAS).

A medida que aumentam as capacidades do produto para disponibilizar informações, aumenta a complexidade do processo de captura. Enquanto a câmera submersa requer apenas

uma câmera à prova d’água, o APAS requer quatro câmeras submersas e duas fora d’água, todas posicionadas com tripés, um dispositivo de calibragem próprio, além de processamento. Enquanto um vídeo comum não requer interferência humana para estar pronto para ser analisado, o Kinovea e APAS requerem a digitalização manual do movimento, que, dependendo da profundidade da análise a ser feita, pode aumentar exponencialmente em complexidade e tempo consumido.

Isso explica porque, apesar das funcionalidades avançadas e de ser utilizado para análises biomecânicas por pesquisadores, o APAS foi identificado como o similar menos apto a cumprir os requisitos do produto, que levam em conta os demais grupos de usuários (nadadores e treinadores): devido à digitalização manual, a identificação de parâmetros automática não é possível, além do tempo de análise não permitir que o treinador possa dar um feedback imediato ao atleta; o tempo usado para posicionar todas as câmeras e iniciar a gravação é demasiado extenso para seu uso em sessões de treino de 45 minutos (a preparação da coleta acompanhada para a Análise da Tarefa demorou mais de duas horas), além de interferir no uso da piscina por outras pessoas (que não poderiam utilizá-la para evitar bloquear ou turvar a visão das câmeras); o translado do sistema de uma piscina a outra é dificultado pela necessidade de transporte dos seus diversos componentes (câmeras e tripés); por fim, o custo total do setup do APAS está além do considerado acessível para a maioria das escolas de natação e público nadador. Os outros dois similares baseados em videogrametria não possuem algumas destas desvantagens: ambos têm preço acessível e podem ser facilmente transportados entre piscinas, e a câmera submersa pode ser utilizada para que o treinador dê feedback imediato sobre a performance do atleta (embora valendo-se apenas do recurso visual).

O segundo método de captura do movimento é através do uso de sensores inerciais. Acelerômetros e giroscópios axiais são utilizados para capturar padrões de movimento, que são processados e identificados. No caso de wearables comerciais, como fitness trackers, esses padrões podem ser: passos, deitar-se, sentar-se. No caso da natação, pode ser, por exemplo, identificação do tipo de nado e contagem de ciclos de braçadas e voltas na piscina. Isso é possível porque algoritmos usados nestes equipamentos permitem o “reconhecimento” de padrões de aceleração e rotação ao longo do tempo. Cada um dos movimentos reconhecíveis têm uma “assinatura” que permite que ele seja percebido - embora o sistema não seja à prova de falhas, e possam ocorrer falsos positivos. Isso permite que sistemas simples, baseados em apenas um sensor inercial (acelerômetro e giroscópio), geralmente colocado em uma pulseira ou tornozeleira, possa reconhecer uma grande diversidade de movimentos. Entretanto, embora os dados coletados por um sensor único no pulso possam informar sobre o tipo de nado sendo executado e a duração da braçada, não são suficientes para permitir uma análise biomecânica da técnica do nado, como por exemplo: ângulos de ataque da mão, flexão do cotovelo e rolamento do corpo, trajetória tridimensional da mão durante a braçada. Para possibilitar essa análise, são necessários mais sensores inerciais coletando informações simultaneamente, em diferentes partes do corpo. Esse é o princípio de funcionamento do Xsens Awinda: 17 sensores são espalhados em diversas partes do corpo, permitindo a criação de uma representação tridimensional do movimento simultaneamente

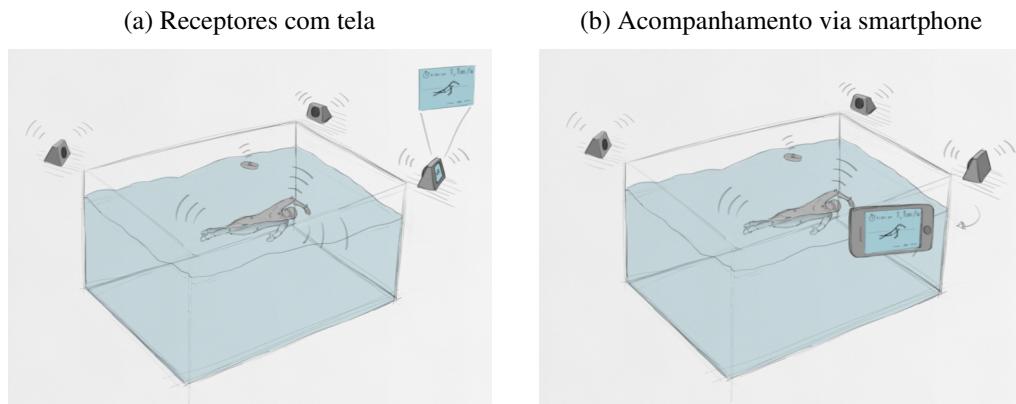
ao mesmo, através de conexão sem fio (ver seção 4.2.2.2). Entretanto, o Awinda precisa de adaptações para poder ser utilizado embaixo d'água, que são feitas por conta e risco pelo usuário. Segundo comunicação particular com Barbara Murphy, representante da distribuidora dos produtos Xsens na América Latina, através de email, o produto não é viável para uso embaixo d'água em condições de fábrica: “*Let us note that the system itself is not designed for use under water. Still, some customers have applied it in swimming (at their own risk)*”. Considerando que adaptações para torná-lo à prova d'água sejam realizadas, o MVN figura como o maior pontuador na comparação de similares da Tabela 3. Sua vantagem sobre outros wearables é a multiplicidade de sensores, que, como dito, permite a análise biomecânica do movimento, e não só a detecção e quantificação automática de parâmetros. Entretanto, essa multiplicidade de sensores também impacta no custo do sistema (50 mil dólares, segundo cotação por email), tornando-o inacessível à maior parte do público alvo, excetuando-se instituições de pesquisa. Em menor grau, impacta também no tempo de preparo para uso, anunciado como de 15 minutos (XSENS, sem ano).

4.4 Geração de alternativas de captura

Antes da definição do conceito, outras alternativas foram exploradas em uma sessão de brainstorm com outro estudante de design de produto. O objetivo foi exaurir possibilidades de solução de projeto que não fossem relacionadas com os similares ou com a literatura científica. Primeiramente o projeto e requisitos levantados foram apresentados brevemente. Depois, estipulou-se um limite de 3 minutos para a geração de três ideias, desenhadas em uma folha de papel. Fimdo esse tempo, cada ideia foi brevemente apresentada pelo seu criador, e as folhas foram trocadas. Mais três minutos foram usados para gerar novas ideias baseadas nas três apresentadas pela outra pessoa. Esse exercício permitiu a exploração de arquétipos para o conceito que não foram diretamente encontrados nos produtos similares, a saber:

1. Triangulação da posição do corpo por emissores e receptores de ultrassom. Uma roupa dotada de transmissores de ultrassom ou rádio posicionados em pontos chave do corpo, funcionando em conjunto com ao menos três receptores de ultrassom na borda da piscina, permitiria a triangulação do movimento do atleta. Os próprios receptores poderiam ser imbuídos de telas, para permitir a visualização em tempo real do movimento na borda da piscina. b) Os receptores não possuiriam mais telas, e o movimento poderia ser acompanhado através de um celular com software específico (Figura 27).
2. Triangulação por ultrassom com receptores submersos. Similar à alternativa anterior, o atleta usaria um wearable com emissores de ultrassom, cujas ondas seriam interceptadas por três ou mais receptores no fundo da piscina, permitindo a triangulação da posição do usuário. Além disso, um transmissor extra acoplado à uma bóia flutuando na superfície da piscina permitiria informar a altura da água e a que profundidade o atleta está nadando. b) Os receptores no fundo da piscina poderiam ficar alinhados sob a raia onde o atleta

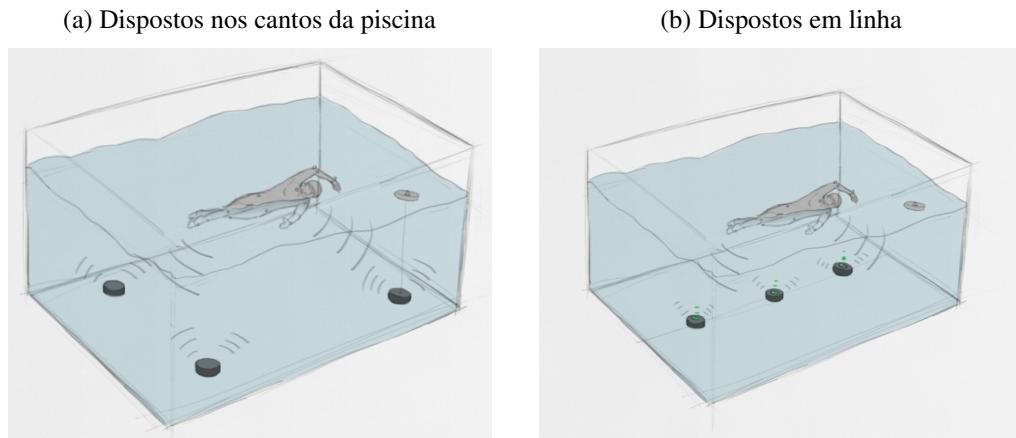
Figura 27 – Alternativa de captura do movimento por ultrassom ou radiofrequência



Fonte: Desenvolvido pelo autor

está nadando, e indicar o ritmo de nado através de indicadores luminosos em seu topo (Figura 28).

Figura 28 – Alternativa de captura do movimento por ultrassom ou radiofrequência com receptores submersos



Fonte: Desenvolvido pelo autor

3. Wearable com pulseiras e tornozoleiras emissoras de ultrassom com receptor central. O atleta vestiria cintas com emissores de ultrassom em pontos chave do corpo, que se comunicariam com um receptor central em seu peito e permitiriam a geração de um modelo do movimento, que seria gravado e poderia ser transferido para um computador via USB. b) O funcionamento do wearable se manteria o mesmo, com a diferença de que as informações da central poderiam ser transmitidas via wireless, permitindo um “streaming” em tempo real dos dados capturados (Figura 29).
4. Piscina especial preparada para videogrametria. Uma piscina com câmeras pré instaladas nas paredes em seus quatro cantos, de forma permanente, somada à uma câmera deslizante

Figura 29 – Alternativa de captura do movimento por ultrassom ou radiofrequência com um wearable



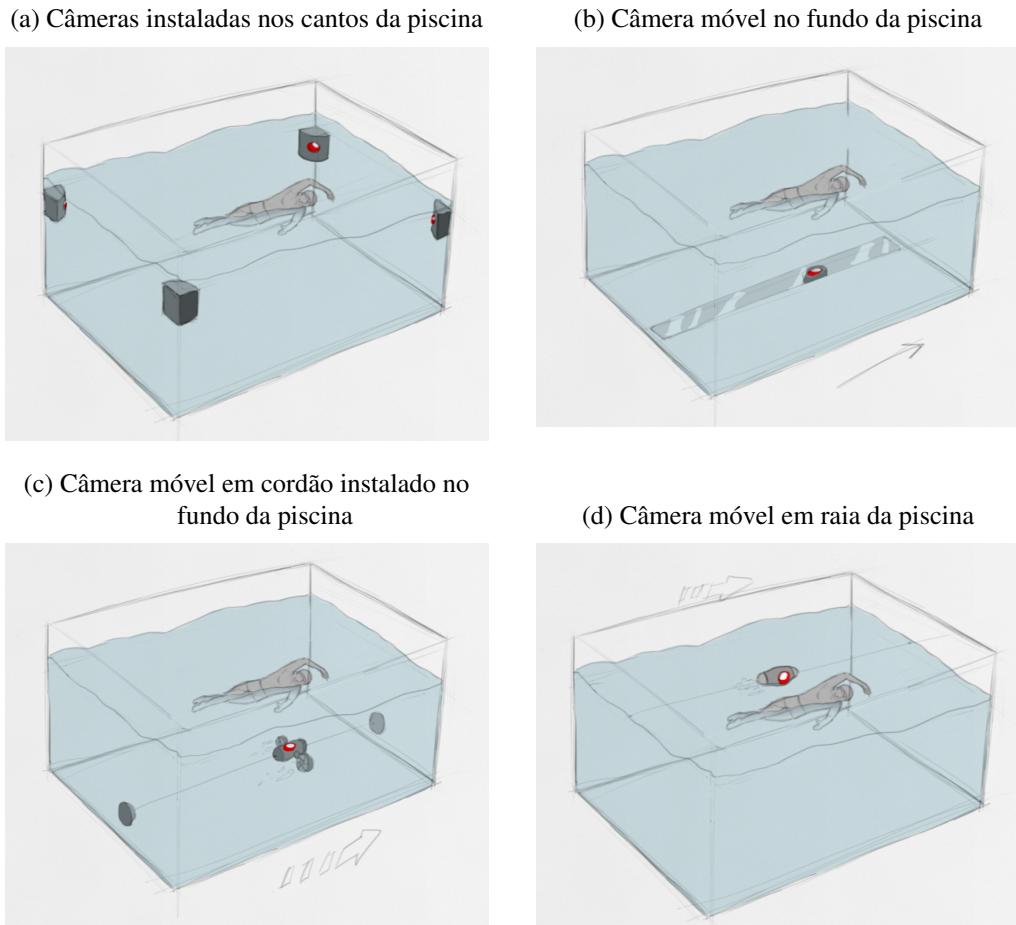
Fonte: Desenvolvido pelo autor

sob as raias, permitindo captura em vídeo de todo o movimento. Como as câmeras estariam sempre posicionadas no mesmo lugar, uma única calibragem seria necessária, e a videogrametria poderia ser aplicada automaticamente, com tempo de preparo quase nulo, embora isso não alterasse o tempo de digitalização da imagem. b) Ao invés de usar uma “piscina preparada”, o produto poderia se basear em um cordão submerso, fixado por ventosas nas bordas das piscinas. Uma câmera subaquática poderia então percorrer esse cordão capturando o movimento do atleta (Figura 30).

5. Wearable de marcadores para videogrametria. O atleta poderia utilizar um wearable com marcadores luminosos em pontos chave do corpo, que, tendo visibilidade maior do que as marcações com tinta normalmente utilizadas, possibilitariam a digitalização automática do movimento, encurtando o processo de análise biomecânica por videogrametria (Figura 31).
6. Suporte de câmera móvel de borda de piscina. Um suporte que permita a instalação de duas câmeras, uma acima e outra abaixo d’água, e que possa ser movimentado ao longo da borda da piscina pelo treinador, seguindo o atleta e capturando sua performance em vídeo. b) Cordão de raia modificado com suporte para câmera. Substituir um dos cordões de raia da piscina por um fio por onde uma câmera possa se mover, capturando o movimento do atleta (Figura 32).

Essas 6 alternativas e suas evoluções podem ser divididas em duas categorias: (i) captura do movimento por triangulação de ultrassom ou rádio frequência e (ii) captura de movimento por videogrametria facilitada. As limitações da primeira categoria de alternativas são: (i) a diferença de densidade entre ar e água dificulta a medição de distância dos emissores de ultrassom até os receptores, já que a velocidade do som nos dois meios é diferente (sendo significativamente maior na água). Assim, como na natação o movimento ocorre tanto submerso quanto fora da água (na fase aérea da braçada) a triangulação da posição de um ponto no corpo do atleta

Figura 30 – Alternativa de captura do movimento por videogrametria em piscinas preparadas

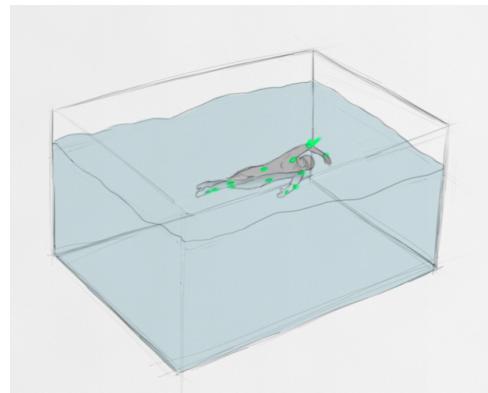


Fonte: Desenvolvido pelo autor

que transita entre os dois meios ficaria comprometida; (ii) a informação de posição de apenas um emissor de ultrassom não possui orientação, ou seja, não permitiria identificar os ângulos dos segmentos do corpo do atleta. Seriam necessários ao menos três emissores para derivar a orientação em três eixos do segmento. No entanto, o uso de emissores de rádio ou ultrassom não pode ser excluídos como forma a complementar o uso de sensores inerciais. As limitações das alternativas de captura de movimento por videogrametria aumentada são: (i) a necessidade de piscinas especialmente preparadas, no caso da alternativa 3; (ii) o uso apenas de câmeras móveis nas alternativas 3b, 4 e 4b, que não permitem análises biomecânicas aprofundadas (devido à inexistência de um referencial para cálculo das distâncias); por fim a alternativa (iii) têm potencial teórico de diminuir o tempo de digitalização do movimento, mas não altera os demais pontos da técnica de videogrametria (eg demora no posicionamento das câmeras, alto custo). Além das alternativas apresentadas anteriormente, também foram geradas duas alternativas baseadas em sistemas de navegação inercial, INS:

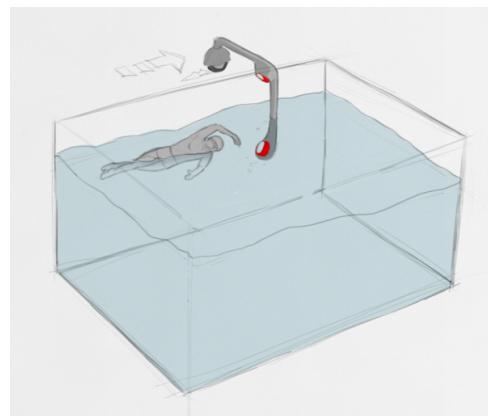
1. Uma veste de natação com sensores inerciais dispostos em módulos em pontos chave do corpo, interligados entre si por fios por baixo da roupa, e alimentados por uma bateria em

Figura 31 – Alternativa de captura do movimento por videogrametria com wearable de marcadores luminosos



Fonte: Desenvolvido pelo autor

Figura 32 – Alternativa de captura do movimento por videogrametria com câmera móvel em suporte na beira da piscina



Fonte: Desenvolvido pelo autor

um dos módulos na lombar (Figura 33).

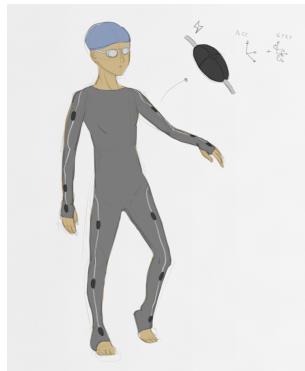
2. Um conjunto de módulos de sensores intercambiáveis instalados em cintas de diferentes tamanhos, que permitem sua fixação em diferentes pontos do corpo. Cada módulo contém sua própria bateria. E os dados capturados são centralizados via rede sem fio (Figura 34).

4.4.1 Comparação das alternativas geradas de captura de acordo com os requisitos do produto

Para facilitar a visualização e a comparação das alternativas, elas foram organizadas em três tabelas (Tabelas 5, 6 e 7) seguindo os mesmos critérios que a análise de similares. Isso permitiu que se pudesse comparar seu desempenho com os similares analisados anteriormente, levando em consideração os requisitos.

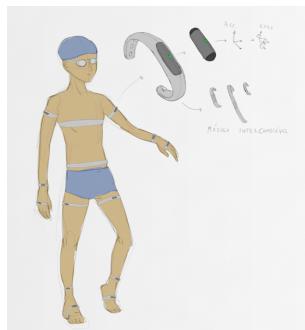
Uma síntese da comparação de similares e alternativas é apresentada na Tabela 8.

Figura 33 – Alternativa de captura do movimento por wearable INS



Fonte: Desenvolvido pelo autor

Figura 34 – Alternativa de captura do movimento por wearable INS modular



Fonte: Desenvolvido pelo autor

4.5 Definição do conceito

Assim, a partir da análise de similares e das alternativas geradas, decidiu-se que o conceito do presente projeto seguirá o arquétipo de um **wearable para captura de movimentos através de sensores iniciais, e apresentação das informações capturadas em meio digital**. Em síntese, a escolha por esse conceito se dá porque: (i) a comparação entre os requisitos atendidos pelos similares foi favorável a esse arquétipo; (ii) a análise dos cenários de uso das duas tecnologias levantadas na análise de similares (captura por vídeo e captura por sensores iniciais) aponta os sensores iniciais como mais apropriados para o contexto de aulas e treinos de natação, especialmente em relação à suas limitações de tempo e infraestrutura; e (iii) a geração de soluções alternativas de captura não rendeu idéias viáveis tecnologicamente ou que satisfizessem os requisitos do produto.

4.5.1 Seleção de alternativas de wearable

Com o conceito definido como um wearable de INS, tornou-se necessário fazer a seleção entre a alternativa de vestimenta ou modular, dado que ambas pontuaram similarmente na comparação (ver Tabela 7. Para comparação destas alternativas, foram definidos ou adaptados

Tabela 5 – Análise ponderada das alternativas baseadas em ultrassom ou radiofrequência

Requisito	Peso	Receptores fora dágua #1, #2	Receptores dentro dágua #1, #2	Wearable
Provê representação visual do movimento	3	x	x	x
Detecta e quantifica automaticamente parâmetros de performance	3	x	x	x
Possibilita análise biomecânica	3	x	x	x
Não dificulta demasiadamente o movimento	3			
Requer tempo de preparo para uso menor do que 10 minutos	2	x		x
Processa e apresenta os dados capturados em menos de 10 minutos	2	x	x	x
Tem custo inferior a uma anuidade em uma escola de natação (R\$ 1200)	2	x	x	x
Faz uso da infraestrutura existente	2	x	x	x
Não requer que demais usuários da piscina tenham que interromper ou modificar suas atividades	2	x		x
Permite compartilhamento de informações por meio digital	1	x	x	x
É intercambiável entre piscinas	1	x	x	x
Somatório normalizado	100%	87%	70%	87%

Fonte – Desenvolvido pelo autor

novos requisitos, específicos para este conceito:

- Adaptabilidade à diferentes tipos físicos. O wearable deve poder ser utilizado por pessoas de diferentes características físicas: peso, altura, comprimento de tronco, pernas e braços.

Atender a este requisito com uma roupa pode ser um desafio, pois será necessário encontrar posições para os sensores que se adequem a diferentes tipos de corpos. Segundo Moraes (1994) não existe um homem médio, ou seja, não existem pessoas que possuam todas suas dimensões no mesmo percentil. Um complicador é o fato de que as dimensões antropométricas não estão correlacionadas - segundo Macedo (2000), poucas dimensões têm uma correlação de 0.9. Por exemplo, altura ao nível dos olhos e estatura têm uma correlação de 0.985 - a maioria tem correlações menores. Isso impediria que se conseguisse modelar uma roupa cujos sensores estivessem posicionados de forma correta (pois não se pode prever o tamanho das dimensões do corpo a partir de uma dimensão conhecida).

O requisito “Pode ser utilizado embaixo d’água” foi substituído por:

Tabela 6 – Análise ponderada das alternativas baseadas em videogrametria facilitada

Requisito	Peso	Piscina preparada #1	Piscina preparada #2	Câmera móvel #1,#2	Câmera móvel #3	Wearable luminoso
Provê representação visual do movimento	3	x	x	x	x	x
Detecta e quantifica automaticamente parâmetros de performance	3					x
Possibilita análise biomecânica	3	x				x
Não dificulta demasiadamente o movimento	3	x	x	x	x	x
Requer tempo de preparo para uso menor do que 10 minutos	2	x	x		x	
Processa e apresenta os dados capturados em menos de 10 minutos	2					x
Tem custo inferior a uma anuidade em uma escola de natação (R\$ 1200)	2			x	x	
Faz uso da infraestrutura existente	2			x	x	x
Não requer que demais usuários da piscina tenham que interromper ou modificar suas atividades	2		x	x	x	
Permite compartilhamento de informações por meio digital	1	x	x	x	x	x
É intercambiável entre piscinas	1			x	x	
Somatório normalizado	100%	50%	45%	58%	66%	70%

Fonte – Desenvolvido pelo autor

Tabela 7 – Análise ponderada das alternativas baseadas em sensores iniciais

Requisito	Peso	Wearable vestimenta	Wearable modular
Provê representação visual do movimento	3	x	x
Detecta e quantifica automaticamente parâmetros de performance	3	x	x
Possibilita análise biomecânica	3	x	x
Não dificulta demasiadamente o movimento	3		x
Requer tempo de preparo para uso menor do que 10 minutos	2	x	x
Processa e apresenta os dados capturados em menos de 10 minutos	2	x	x
Tem custo inferior a uma anuidade em uma escola de natação (R\$ 1200)	2	x	x
Faz uso da infraestrutura existente	2	x	x
Não requer que demais usuários da piscina tenham que interromper ou modificar suas atividades	2	x	x
Permite compartilhamento de informações por meio digital	1	x	x
É intercambiável entre piscinas	1	x	x
Somatório normalizado	100%	87%	100%

Fonte – Desenvolvido pelo autor

- Resistência à pressão dinâmica do movimento na água, até 5 ATM

A definição de 5 ATM como o valor de resistência da água vêm da análise de similares usados para natação, como fitness trackers para natação da marca Garmin²). Todos os relógios indicados para uso durante a natação estão na categoria 5 ou 10 ATM. Isso significa que eles possuem uma resistência à pressão 5 ou 10 vezes maior do que uma atmosfera, que é a pressão exercida sobre corpos fora da água, no nível do mar. Assim, esses produtos poderiam suportar a pressão estática da água à 50 ou 100 metros de profundidade, respectivamente. O uso em piscinas de natação não requer mergulhos em profundidades maiores do que 3 metros (a profundidade recomendada para piscinas olímpicas pela Federação Internacional de Natação - FINA³), mas a resistência à pressão de 5 ATM se faz necessária devido à pressão dinâmica exercida no produto durante o movimento do corpo no nado.

O requisito “Não dificulta demasiadamente o movimento” foi desdobrado em:

- Peso do wearable não deve ser maior do que 400g.
- Densidade do wearable deve ser de 1 a 1,1g/cm³.

² <http://www.garmin.com/pt-BR/legal/waterrating>

³ https://www.fina.org/sites/default/files/finafacilities_rules.pdf

Tabela 8 – Somatório normalizado da adequação dos similares e alternativas aos requisitos do produto

Similar/alternativa	Somatório normalizado
Wearable comercial	75%
MVN Awinda	83%
APAS	50%
Kinovea	66%
Câmera submersa	70%
Receptores de ondas fora d'água #1, #2	87%
Receptores de ondas dentro d'água #1, #2	70%
Wearable de ondas	87%
Piscina preparada #1	50%
Piscina preparada #2	45%
Câmera móvel #1, #2	58%
Câmera móvel #3	66%
Wearable luminoso	70%
Wearable vestimenta	87%
Wearable modular	100%

Fonte – Desenvolvido pelo autor

- A forma e textura do wearable devem ser o mais próximas possíveis ao corpo humano.

A adição de peso ao nadador pode alterar sua performance, o que dificulta a análise da performance real do atleta devido à introdução desta variação pelo próprio instrumento de medição, no caso, o wearable. Portanto, pode-se dizer que o peso do wearable deve ser o menor possível. Arbitrariamente, foi estipulado um limite de adição de peso de até 1% do usuário de menor peso do público alvo, aqui considerado um indivíduo do percentil 5 do sexo feminino, com idade de 15 anos⁴. Entretanto, apenas o critério peso não é suficiente para estipular o efeito do uso do wearable sobre a performance do nadador. Outros dois fatores fundamentais são densidade e volume. A densidade média do corpo humano masculino varia de 1,01g/m³ a 1,08 g/m³, sendo ligeiramente maior do que a da água (H. J. KRZYWICKI, 1966). Para alterar a performance do atleta o mínimo possível, o wearable deve ter densidade similar à do corpo do usuário (para não melhorar ou piorar sua capacidade de flutuação) e volume o menor possível, com formas similares à do corpo do usuário (para não desfavorecer o atleta gerando arrasto de forma). Por fim, o material utilizado no wearable deve ter propriedades superficiais similares à pele humana. Vests de neoprene, por exemplo, (de mangas curtas e até o joelho) podem resultar em uma melhora de 7% no tempo de atletas. O neoprene têm densidade

⁴ <http://www.cdc.gov/growthcharts/data/set1clinical/cj411022.pdf>

menor do que corpo humano, e não aumenta significativamente a área de superfície do mesmo, inclusive deixando-a mais suave - o que têm impacto na flutuação do atleta, deixando-o mais horizontal à superfície (já que boa parte do neoprene nestas vestes está na porção posterior ao centro de gravidade do atleta) o que por sua vez também diminui o arrasto frontal e de forma (Parsons; Day, 1986 apud Lowensteyn et al. 1994). Tendo em vista essas restrições, **considerou-se o wearable modular como mais adequado**, principalmente devido à: (i) o peso da roupa e fios interligando os módulos ultrapassarem largamente a economia obtida com o uso de apenas uma bateria; (ii) as vestes de natação interferem no desempenho dos atletas, portanto, a versão em módulos minimizaria a diferença entre a performance do atleta e a performance do atleta utilizando o produto; e (iii) a não-correlação entre as dimensões do corpo em um mesmo percentil, que dificulta a criação de uma roupa que se adeque à diferentes tipos físicos e mantenha o posicionamento dos sensores nos locais necessários. Nos próximos capítulos deste trabalho, utilizar-se-á “o wearable” para se referir a alternativa escolhida de solução.

5 DESENVOLVIMENTO DO WEARABLE

5.1 Princípio de funcionamento do wearable

O princípio de funcionamento escolhido para o produto é a utilização de diversos módulos de sensores iniciais de navegação (INS, descritos na seção 2.6.2.2), presos à diversas partes do corpo através de cintas ou sistema similar. Como visto na fundamentação teórica, é possível usar os dados brutos de aceleração e velocidade angular coletados por tais sensores para obter velocidade e posição (a partir da aceleração) e orientação (através da velocidade angular), ambos em três eixos ortogonais. Além disso, sensores iniciais são utilizados em todos fitness trackers atuais (descritos na seção 4.2.2.1), de forma que os módulos do produto poderiam ser utilizados também com essa função, separadamente - os cenários de uso possibilitados por essa configuração são descritos na seção 5.2.1. Os dados coletados pelos sensores iniciais são pré-processados e gravados no módulo, e depois centralizados em um dispositivo como smartphone ou computador através de comunicação por rede sem fio. Depois desses dados coletados serem centralizados, um software específico instalado no dispositivo permitirá a visualização do movimento capturado e acesso à outras informações que possibilitem a análise biomecânica do movimento (eg. gráficos de aceleração e rotação dos segmentos do corpo, como visto na seção 2.6.2). A escolha por transferir a parte majoritária de apresentação dos dados para um dispositivo separado parte da economia de utilização de recursos: minimizar o desenvolvimento de produtos com funções redundantes. De fato, todos os similares analisados dependem em certa medida da utilização de computadores externos (seção 4.2).

5.1.1 Quantidade e localização dos sensores

A quantidade de módulos necessários para captura do movimento, bem como sua localização, depende de quais partes do corpo são relevantes para a análise biomecânica em questão e como os dados dos sensores serão interpretados. Similares analisados que permitem análise biomecânica se utilizam de 19 e 17 pontos (APAS, de videogrametria, e MVN, de sensores iniciais, respectivamente) para gerar uma representação tridimensional do corpo inteiro do atleta. Enquanto o MVN têm sensores na lombar, peito e costas, o APAS utiliza os pontos onde os membros se unem ao tronco para deduzir sua posição, não requerendo digitalização de pontos no tronco em si. Em relação a interpretação dos dados, viu-se na fundamentação teórica que os dados de aceleração são mais sujeitos a ruído do que os dados de velocidade angular. Ambos sofrem com *drift* ao longo do tempo, o que fica evidente e ampliado quando se faz a integração do sinal através de métodos numéricos (usando a regra do Trapezoide). Integra-se os dados uma vez para obter orientação a partir do giroscópio e duas vezes para obter posição a partir do acelerômetro. Planeja-se contornar a soma do erro de posicionamento de um sistema com

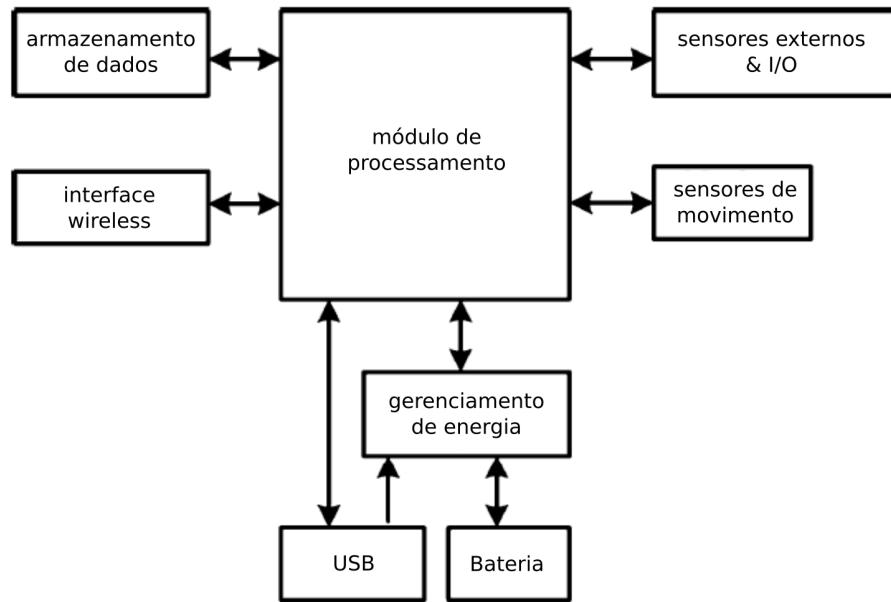
diversos sensores utilizando-se apenas um dos acelerômetros para obter a posição do corpo relativo à posição inicial, e utilizar os valores de orientação dos demais sensores para gerar a partir daí o resto da representação do corpo ao redor deste acelerômetro, usando dimensões dos segmentos do corpo padronizadas ou providas pelo usuário. Segundo os estudos levantados, o posicionamento mais propício para que um acelerômetro meça a velocidade e deslocamento de um atleta é o mais próximo do centro de massa deste quanto possível, geralmente aproximado para a lombar. Além disso, é costumeiro filtrar o sinal dos sensores, com filtros de passa baixa (*low pass*) ou o Filtro de Kalman (ver seção 2.6.2.2). Uma possível exceção ao uso somente da informação de orientação para obter o movimento dos membros é o braço, em sua ligação ao ombro. Este ponto é especialmente complicado porque além de ser crucial para a caracterização do movimento, é a articulação que se movimenta com maior amplitude nos três eixos. As quatro articulações do ombro (a saber, gleno-umeral, acrômio-escapular, escápulo-torácica e esterno-clavicular) permitem movimentos que não seriam captados como mudanças de orientação em um sensor no braço ou na coluna dorsal, como o movimento de “dar de ombros”. O uso dos dados de aceleração dos sensores nos braços, nesse caso, poderia prover informações sobre esse movimento. É importante notar que a informação de orientação pode ser obtida por uma fusão dos dados do giroscópio e acelerômetro, o segundo servindo para prover um referencial quanto à aceleração da gravidade (isso é visto mais a fundo na seção 5.3.4). Dessa forma, seria possível capturar o movimento de todo o corpo de um atleta utilizando 15 sensores iniciais nas seguintes posições: cabeça, coluna dorsal, coluna lombar, braços, pulsos e mãos, coxas, pernas e pés, sendo a velocidade e deslocamento do corpo providos pelo acelerômetro na lombar. Sabendo-se as dimensões dos segmentos do corpo do atleta, os valores de orientação dos demais sensores poderiam ser concatenados para criar a representação do movimento ao redor desse centro de gravidade: partindo da coluna lombar, a orientação da coluna dorsal revelaria em que pontos estão a cabeça e ombros. A orientação do sensor na cabeça revelaria para onde o atleta está olhando. A orientação dos sensores nos braços revelariam em que ponto estão os antebraços, e a orientação destes, em que ponto estão as mãos, e por fim, a orientação destas revelaria se estão em extensão ou flexão, ou em desvio ulnar ou radial. Analogamente, a orientação da coluna lombar revelaria onde estão os quadris, e a das coxas onde estão as pernas, e estas onde estão os pés, e por fim os sensores nos pés permitiriam saber se o pé do atleta está em flexão dorsal (voltado em direção a parte anterior da perna), flexão plantar (voltado para baixo, como quando continuando a linha da perna), adução ou abdução (com as pontas dos dedos voltadas à linha central do corpo ou para longe dela) e inversão ou eversão (com a sola do pé se voltando para o centro do corpo ou para longe dele).

5.1.2 Requisitos de componentes de hardware

Nesse ponto do desenvolvimento, alguns dos requisitos de componentes do wearable podem ser obtidos, baseados nas decisões já feitas: (i) tipo de dado coletado; (ii) utilização com bateria; (iii) comunicação por rede sem fio. Estes componentes da arquitetura de hardware do

wearable são comuns à diversos produtos, e são apresentados em forma de diagrama de blocos na Figura 35. As próximas seções versam sobre quais são os componentes de hardware necessários para o funcionamento do wearable, desde a coleta de dados até sua comunicação. Componentes além desse grupo básico, como para interação com o wearable e sua colocação no corpo, são apresentados na seção 5.3.

Figura 35 – Diagrama de blocos de um wearable genérico.



Fonte: Adaptado de Au et al. (2011)

5.1.2.1 Sensores

No contexto de saúde e esporte, os sensores mais comumente utilizados são os fisiológicos e os biomecânicos. Sensores fisiológicos lêem sinais como frequência cardíaca, de respiração, e temperatura. Sensores biomecânicos medem parâmetros de movimento de segmentos do corpo, os mais comuns sendo os sensores de navegação inercial (SCILINGO; LANATA; TOGNETTI, 2011).

Sensores são cruciais para todas as aplicações de monitoramento. Para monitoramento contínuo e reconhecimento de atividades, empregam-se acelerômetros e giroscópios, que podem ser integrados na placa de circuito integrado para redução do tamanho total do sistema (AU et al., 2011). Como já visto, os sensores utilizados neste projeto são acelerômetros e giroscópios tri-axiais. O processo de escolha do componente específico é descrito na seção 5.3.4.

5.1.2.2 Aquisição do sinal

As leituras dos sensores iniciais são comunicadas como um sinal analógico, em forma de variação de voltagem. Para a apropriação correta deste sinal, é necessário que ele seja

tratado e pré-processado, através de amplificação e filtragem, e depois transformado em um sinal digital através de um conversor analógico/digital (A/D). Os circuitos necessários para tanto dependem do tipo do sensor. Para acelerômetros, normalmente se faz necessário utilizar um filtro passa-baixa para retirar da leitura leituras em frequências fora da faixa de interesse (provenientes de trepidações, por exemplo). Em alguns casos, os próprios sensores MEMS convertem o sinal analógico em digital, diminuindo o tamanho total do sistema (AU et al., 2011) (ver seção /refsistemaColeta).

5.1.2.3 Módulo de processamento e armazenamento de dados

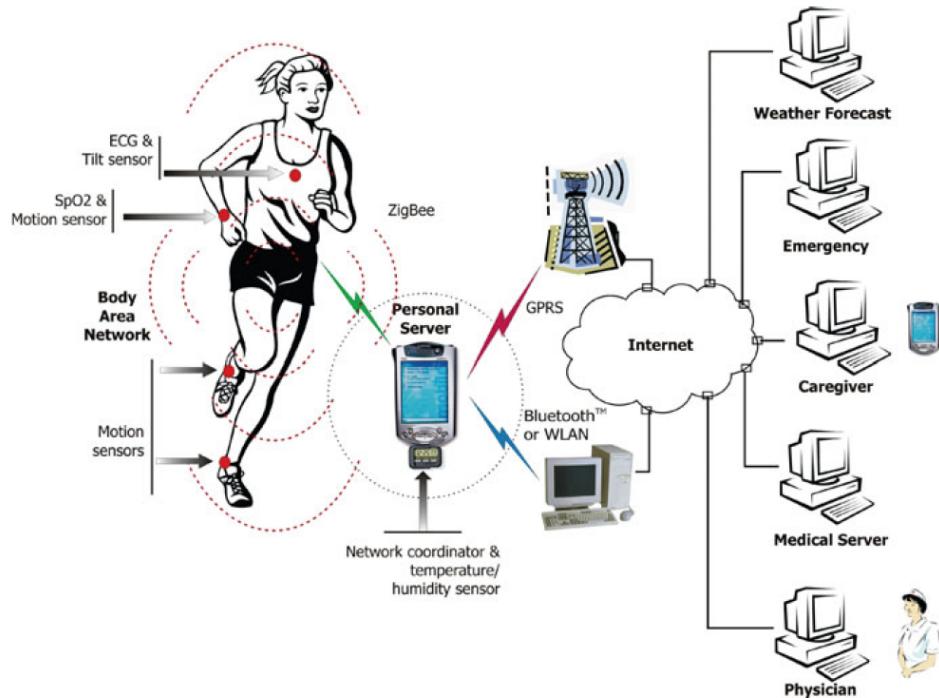
A escolha do módulo de processamento varia de acordo com a aplicação. A maioria dos wearables utiliza sistemas embarcados de baixo poder de processamento, capazes de cumprir funções básicas como detecção de recursos e cálculo de médias a partir do sinal obtido dos sensores, sem comprometer a vida útil da bateria. Outro fator que influencia na escolha de um módulo de processamento é compatibilidade com modos de armazenamento ou comunicação wireless. Caso seja necessário a análise em tempo real dos dados, comunicação via wireless é usada, embora esta represente a maior parte da demanda por energia de um sistema. Por isso, é necessário pré-tratar e filtrar os dados para diminuir a taxa de transmissão - e, portanto, energia - requerida. Caso os dados possam ser coletados e visualizados assincronamente, o armazenamento local é uma opção de menor custo energético e mais segura, do ponto de vista da integridade dos dados. O armazenamento se dá geralmente em cartões de memória removíveis, que podem facilmente ser lidos por outros dispositivos eletrônicos (AU et al., 2011). A definição dos componentes e forma de gravação é apresentada na seção 5.3.6.

5.1.2.4 Interface wireless

Interfaces de comunicação wireless são utilizadas quando a apropriação de dados em tempo real é requerida pela aplicação, ou quando um sistema wearable composto por diversos módulos de sensores precisa reportar ou transferir dados a um dispositivo central sem utilizar fios. Sistemas wearable compostos por mais de um módulo de sensores com comunicação wireless são chamados de *body area network* (BAN)¹, como pode ser visto na 36. BAN's permitem que uma central de processamento se aproprie dos dados de diversos sensores sem a necessidade de fios ligando-os. A escolha do protocolo wireless a ser utilizado é dependente da largura de banda requerida para transmissão dos dados coletados, que varia dependendo da taxa de amostragem e da natureza do sensor, definidos por sua vez pela aplicação (WARREN; NATARAJAN, 2011). A escolha deste componente é apresentada na seção 5.3.6.

¹ Rede de área do corpo, em tradução literal. Também conhecida como *personal area network* (PAN) e *wireless personal area network* (WPAN), respectivamente traduzidos como rede de área pessoal e rede sem fio de área pessoal.

Figura 36 – Exemplo de um wearable BAN



Fonte: WARREN, S.; NATARAJAN, B. 2011

5.1.2.5 Gerenciamento de Energia e Bateria

Para aumentar a eficiência energética do sistema, dispositivos para gerenciamento de energia podem ser utilizados. Um dos requisitos para tais dispositivos é permitir a leitura do nível de energia em tempo real, e permitir ações sobre o sistema baseado nessa informação, por exemplo, desligando módulos da plataforma para economizar energia (AU et al., 2011). A definição do sistema de gerenciamento de energia e bateria são apresentadas na seção 5.3.7.

5.2 Design de Interação e Arquitetura de Informação

O desenvolvimento do wearable passa pela etapa de definir seu Design de Interação e Arquitetura de Informação. O Design de Interação se baseia em definir como o usuário e o produto irão interagir: isto é, como o produto vai responder a determinada ação do usuário - e prever como o usuário vai reagir a essa resposta, e assim por diante. Outra função fundamental do Design de Interação é definir a forma como o produto tratará de eventuais erros dos usuários. O design para tratamento de erros pode significar desenvolver o produto de tal forma que seja impossível cometer um erro, ou quando isso não for possível, certificar que fica claro ao usuário o resultado de cada uma de suas ações, e preferencialmente disponibilizar recursos para recuperação de erros (como o botão “desfazer” em muitos softwares). A Arquitetura de Informação do produto especifica as informações apresentadas e sua organização. Juntos, o

Design de Interação e Arquitetura de Informação compõe o plano de Estrutura do método de Garrett (2010), em sua metodologia para desenvolvimento de produtos voltados à melhor a experiência do usuário, largamente utilizada no desenvolvimento de produtos digitais. Foram criados cenários de uso para delinear as formas como o usuário poderia interagir com o produto e as informações que o seriam apresentadas. Isso permitiu também a identificação de subsistemas funcionais a serem desenvolvidos para o produto (seção 5.3).

5.2.1 Cenários de uso

A geração de cenários de uso serve para ajudar a definir quais funções seriam necessárias ao produto, de forma complementar aos requisitos funcionais já levantados na seção 4.3. Enquanto os requisitos direcionam a função geral do produto, no caso, captura do movimento, eles não especificam possíveis subfunções do produto a ser desenvolvido (por exemplo: ligar o produto antes do uso e desligá-lo após).

Os cenários de uso identificados foram:

1. Um nadador adquire de um a quinze módulos. Ele os liga e começa a gravar o movimento, e então os veste, nos locais adequados, e realiza o nado. Ao sair da água, ele pára a gravação e retira os módulos.
2. Uma escola de natação pode adquirir mais de 15 módulos, para que vários nadadores usem ao mesmo tempo, e o treinador pode capturar o movimento de um aluno durante uma aula, usando 15 módulos, enquanto monitora o desempenho de outros alunos (através de parâmetros obtíveis por um único sensor, como número de voltas, braçadas e velocidade média), cada um com um módulo em seu pulso.
3. Um nadador compra apenas um módulo, e se junta com outros nadadores que também compraram um (ou poucos) módulo e eles os usam coletivamente para capturar o movimento de um nadador por vez.
4. Em todos os cenários anteriores, podem ser utilizados menos do que quinze módulos, para capturar o movimento de diferentes partes do corpo (eg apenas um braço, ou apenas membros superiores).

A análise destes diferentes cenários de uso permite enxergar os passos de utilização comuns a todos. Estes passos foram sumarizados em um fluxograma (Figura 37, segundo a linguagem proposta por Garrett (2010)). O usuário é apresentado ao módulo - que comunica os estados levantados - e interage com ele através de ações, que resultam em mudanças de estado do módulo. A representação dos estados como pilhas de páginas (*pagestacks*, na notação) indica que o usuário pode realizar a ação com 1 ou mais módulos. O fluxograma descreve o uso do produto de forma genérica, podendo ser aplicado à qualquer dos cenários acima.

Figura: Fluxograma do design de interação do produto, para um número qualquer de módulos

figure

5.2.1.1 Identificação de estados, ações e erros

Através da análise dos cenários e criação do fluxograma de uso, foram determinados os estados, ações e erros possíveis no uso do módulo, além de possíveis soluções preventivas e corretivas para estes erros, apresentados na Tabela 9. Soluções preventivas inibem o erro de ser cometido, enquanto soluções corretivas permitem ao usuário corrigi-lo após cometê-lo (GARRETT, 2010). Aqui, o termo “sistema” é usado para se referir ao produto como conjunto de módulo e aplicativo. É importante notar que este fluxograma não apresenta um estado de “carregando” para o módulo. Isso se dá porque a bateria do módulo pode ser recarregada externamente, ou apenas trocada (considerações específicas sobre este assunto estão presentes na seção 5.3.7).

5.3 Subsistemas do produto

A tabela de estados, ações e erros apresentada na seção anterior permite definir subsistemas do produto, a saber:

1. Subsistema de interface do wearable: responsável por permitir que o usuário realize as ações de ligar/desligar o módulo, começar/terminar as gravações e transferir os dados.
2. Subsistema de informação de estado do wearable: foram definidos 4 estados para o módulo (ligado, desligado, posicionado e gravando), dos quais apenas um (módulo posicionado) pode ser prontamente verificado pelo usuário. Assim, é necessário um subsistema informational que permita ao usuário identificar os demais estados do módulo.
3. Subsistema de identificação do módulo: verificou-se o possível erro de que os usuários não consigam identificar qual módulo era o seu (no caso de uso coletivo), ou em que parte do corpo deve ser colocado cada módulo. Assim, é necessário que o produto conte com um subsistema de identificação para cada módulo, onde o usuário possa atribuir cada módulo a um determinado conjunto.
4. Subsistema de coleta dos dados: formado pelos sensores inerciais de cada módulo, coletam os dados de aceleração e velocidade angular tri axiais, e definem a magnitude (quão grandes podem ser os valores medidos) e resolução (quantas casas após a vírgula são obtíveis) máximos do sistema.
5. Subsistema de gravação dos dados: esse subsistema é responsável pela gravação dos dados coletados pelos sensores.

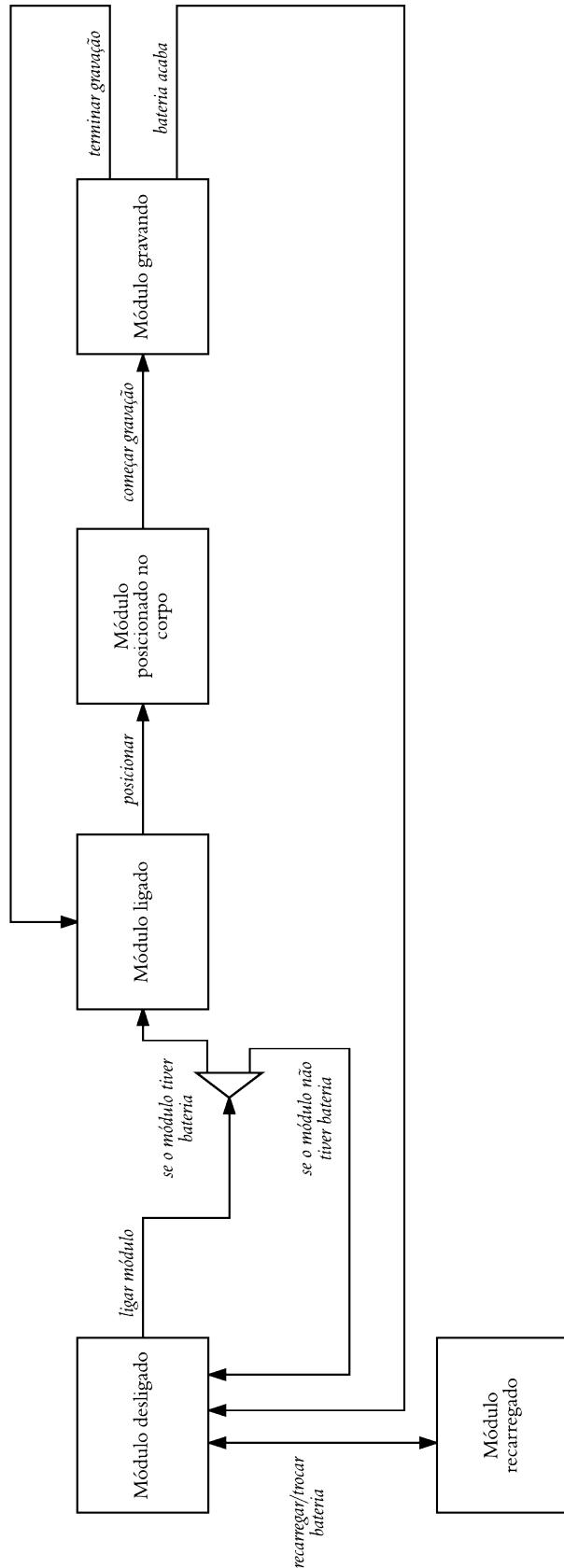


Figura 37 – Fluxograma do design de interação do produto, para um número qualquer de módulos

Tabela 9 – Tabela de Estados, Ações e Erros no uso do wearable

Estado	Ação	Erro	Solução preventiva	Solução corretiva
Módulo desligado	Ligar módulo	Usuário não sabe se o módulo está ligado ou não	Sistema pode apresentar identificação do estado “ligado” Módulo pode estar sempre ligado	N/A
	Recarregar/trocar bateria do módulo	Usuário não sabe como recarregar o módulo	Sistema deve permitir recarregamento intuitivo ou prover instruções	N/A
	Posicionar módulo	Usuário posiciona o módulo na posição ou orientação erradas	Colocação do módulo nas posições corretas deve ser providenciada ou ser intuitiva. Colocação do módulo na orientação errada deve ser dificultada ou impossibilitada.	Sistema pode informar ao usuário que o módulo não está na orientação correta.
		Usuário não possui o tamanho correto de cinta	Módulo pode permitir o ajuste de tamanho da cinta para qualquer parte do corpo	N/A
		Usuário não sabe se a gravação começou	Sistema deve apresentar identificação do estado “gravando” Módulo pode estar sempre gravando	N/A
Módulo ligado	Começar gravação	Gravações dos 15 módulos começam em tempos diferentes	Sistema pode permitir sincronizar os módulos, para que comecem a gravar ao mesmo tempo Sistema pode permitir ao usuário sincronizar as gravações posteriormente	N/A
	Desvestir o módulo	Bateria acaba antes do término da gravação	Sistema deve alertar o usuário do tempo máximo de gravação com sua bateria antes do início, sistema deve indicar ao usuário que a bateria está acabando	Pode haver redundância de módulos em um mesmo local
		Usuário desveste os módulos e não sabe-se mais de quem é cada módulo (no caso de uso de módulos de diferentes pessoas)	Sistema deve possibilitar identificação de propriedade	N/A
Módulo gravando	Terminar gravação	Usuário não sabe se a gravação foi salva	Sistema deve possibilitar acessar os arquivos gerados	N/A
Módulo ligado ou desligado	Transferência dos dados	Os dados de múltiplos módulos são transferidos ao mesmo tempo sem identificação	O sistema deve permitir identificar qual segmento do corpo foi gravado pelo módulo	N/A

Fonte – Desenvolvido pelo autor

6. Subsistema de comunicação: faz a comunicação dos dados dos sensores para sua centralização no dispositivo receptor (smartphone ou computador), e pode receber dados deste. Adicionalmente, é responsável pela sincronização dos módulos antes de iniciar uma gravação.
7. Subsistema de alimentação: responsável pela distribuição de energia para os demais subsistemas que a necessitam e por possibilitar o recebimento de energia de fontes externas ou troca de bateria.
8. Subsistema de suporte: identificaram-se possíveis erros na colocação dos módulos do corpo, em termos de localização e orientação. Assim, é necessário um subsistema de suporte que contenha os componentes, iniba a colocação errônea, além de permitir ao usuário vestir o módulo em diversas partes do corpo.
9. Subsistema de processamento dos dados: transforma os dados coletados por diferentes módulos na representação tridimensional do movimento, levando em conta as informações de dimensão dos segmentos do corpo e comprimento da piscina.
10. Subsistema de apresentação/interface digital: trata da apresentação dos dados coletados e processados para o usuário, e do controle dos módulos via software.

O desenvolvimento desses subsistemas é descrito nas próximas seções. Nota-se que, partindo da perspectiva do Design de Interação, nem todos subsistemas necessariamente são traduzidos em componentes físicos do produto: quando considerado pertinente, os subsistemas podem ser apenas virtuais (parte do software do dispositivo receptor) ou híbridos.

5.3.1 Subsistema de interface do wearable

A seção de Design de Interação detectou sete ações possíveis para o uso do produto: ligar/desligar; começar/terminar gravação; transferir os dados; vestir e carregar. Destas, as duas últimas têm características especificamente físicas (eg regular a cinta de suporte e trocar uma bateria ou conectar um cabo de alimentação ao módulo) que são tratadas nos subsistemas respectivos de suporte e de alimentação. A forma como as ações restantes (de ligar e desligar o módulo, começar e terminar a gravação e transferir dados) serão realizadas são o foco do Design de Interface, que trata de como materializar as ações definidas no Design de Interação através de elementos de interface (o mecanismo através do qual o usuário interage com o produto, sejam botões físicos ou campos de texto digitais) (GARRETT, 2010). As duas primeiras ações podem ser descritas como ações de alternação de estado: ao realizar a ação de ligar/desligar, o estado do módulo passa do estudo atual para o outro, e assim por diante. O mesmo ocorre com a gravação, com o módulo alternando entre os estados “gravando” e voltando ao estado “ligado” ao terminar-se a gravação. Isto presume que o módulo não pode estar ligado e desligado ao mesmo tempo, ou gravando e não gravando ao mesmo tempo, o que é uma convenção no

Tabela 10 – Tabela de alternativas de interface

Ação	Alternativas de interface
Alternar entre estado ligado/desligado	Botão físico que alterna entre os estados cada vez que for pressionado Botão físico do tipo <i>pushbutton</i> , que fica no estado pressionado até ser pressionado novamente
Alternar entre estado gravando/ligado	As mesmas alternativas já citadas Comando no dispositivo receptor pode ordenar o módulo a começar/parar de gravar O módulo pode reconhecer um padrão de movimento e enviar um sinal para iniciar a gravação. Similarmente, a ausência de movimento durante certa duração pode desativar a gravação
Transferir os dados	Comando no dispositivo receptor pode requerer que os módulos conectados transfiram os dados para ele (ver subsistema de comunicação) O usuário pode transferir os dados fisicamente, usando um cabo ou retirando um cartão de memória (ver subsistema de armazenamento)

Fonte – Desenvolvido pelo autor

uso de produtos eletrônicos, com a qual o usuário possivelmente estará familiarizado. Essa familiaridade é o motivo de Garrett (2010) sugerir utilizar o princípio de convenção para definir elementos de interface. Partindo dessa convenção, pode-se dizer que para realizar essas ações são necessários dois elementos de interface para o módulo: um que permita alternar o estado entre ligado e desligado e outro que permita alternar o estado entre ligado e gravando. Adicionalmente, é necessário um terceiro elemento de interface que permita transferir os dados do módulo para o dispositivo receptor. A forma como esses elementos de interface podem se apresentar pode ser física ou digital. Alternativas geradas são apresentadas na Tabela 10:

Essas alternativas podem ser divididas em “interfaces físicas” e “interfaces digitais”:

1. Os botões apresentados como alternativas físicas são comumente utilizados em equipamentos eletrônicos, mas não na maioria dos fitness trackers. Isso provavelmente ocorre porque o estado “desligado” (e a ação de desligar) não é considerado necessário para boa parte dos fitness trackers, que têm como função mensurar as atividades do usuário 24 horas por dia, e baterias de longa duração. Logo, contrários à utilização de botões físicos estão:

- A possibilidade do uso do produto como fitness tracker, com longo tempo de bateria, que pode tornar desnecessária a existência de uma ação de “desligar”;
- O uso de um botão para começar/terminar gravações requeria ao usuário pressionar 15 botões para começar a gravação do movimento do corpo inteiro;
- A complexidade adicional no projeto do produto com resistência à água até 5ATM (um dos requisitos do produto);

- A possibilidade de pressionamento não intencional dos botões durante o uso;
2. Alternativamente, as alternativas digitais e a alternativa de ativação por movimentação não poderiam ser utilizadas para ligar/desligar o produto, pelo fato da comunicação entre dispositivo receptor e módulo, além da captação de dados pelo acelerômetro, serem desativadas no modo desligado. Considerações sobre estas formas de interface:
- Captação de dados do módulo para iniciar/terminar a gravação quando for detectado movimento poderia evitar o gasto de energia quando o módulo não estiver em uso. Entretanto, falsos-positivos poderiam acabar por desligar o módulo quando o usuário estivesse dormindo e utilizando o produto para *sleeptracking*. Além disso, este método não permitiria iniciar ou terminar a gravação de diversos módulos sincronizadamente, sendo necessário um comando extra para sincronizar os módulos.
 - Comandos digitais requerem a presença do dispositivo receptor para que sejam executados. Essa exigência pode impedir o usuário de realizar ações por ausência do dispositivo receptor. Ao mesmo tempo, essa característica pode ser utilizada para prevenir erros na utilização do produto, como terminar gravações por engano ou não sincronizar os módulos.

Em suma, interfaces digitais não são as melhores escolhas para ligar o produto. Entretanto, isso não seria problemático caso o produto não precisasse ser desligado (como um relógio). Botões físicos podem ser pressionados por engano e adicionam complexidade mecânica. Mesmo assim, nem todos os cenários de uso do produto analisados se beneficiariam de um estado sempre ligado: caso o produto seja utilizado apenas em aulas de natação, e seja de propriedade das escolas, seu uso se assemelharia mais à uma câmera digital do que a um fitness tracker, e a convenção seria que pudesse ser desligado quando não utilizado. Assim, decidiu-se que o módulo contará com **botão físico para alternar entre os estados ligado/desligado**, que pode ser utilizado caso o usuário julgue pertinente. Esse botão deverá ser de difícil acesso, para dificultar seu pressionamento por acidente, além de utilizar outras técnicas de prevenção de erros, como “manter pressionado durante 5 segundos para desligar”. **As ações de iniciar/terminar gravação e transferir dados serão realizadas prioritariamente via software, através de comandos no dispositivo receptor.** Isso permite evitar gravações dessincronizadas entre os módulos. Entretanto, caso o usuário precise realizar uma gravação mas não tenha o dispositivo receptor ao alcance, ele pode utilizar o botão de “ligar/desligar” para começar gravações (e.g. quando ligado, um toque curto no botão inicia/termina e um toque longo desliga o módulo) - porém, não terá um método de sincronização, podendo apelar para métodos físicos, menos confiáveis: um evento de movimento de todos os módulos que permita a sincronização. Nota-se que como a sincronização digital ocorre apenas no início da gravação, não é problemático terminar as gravações dos módulos uma por uma, usando o botão físico. Além disso, se apenas um módulo estiver sendo utilizado, o início/término de gravação pelo botão físico não apresenta

Tabela 11 – Alternativas de métodos com o módulo pode informar seu estado atual

Estado	Alternativas de informação de estado
Ligado/desligado	<p>Um indicador luminoso pode se acender quando o produto estiver ligado.</p> <p>O dispositivo receptor pode indicar quando o sistema está ligado ou desligado.</p>
Gravando	<p>Um indicador luminoso, diferente do anterior, pode se acender quando o produto estiver gravando.</p> <p>O indicador luminoso de “ligado” pode começar a piscar ou mudar de cor quando o módulo estiver gravando.</p> <p>O dispositivo receptor pode indicar quando o sistema está gravando.</p>
Bateria acabando	<p>Um indicador luminoso, diferente do utilizado para indicar que o produto está ligado ou gravando, se acende quando a bateria está acabando.</p> <p>O indicador luminoso de “ligado” pode começar a piscar ou mudar de cor quando a bateria estiver acabando.</p> <p>Um motor de vibração vibra indicando ao usuário que a bateria está acabando.</p> <p>O dispositivo receptor pode indicar quando a bateria do módulo estiver acabando.</p> <p>O módulo pode emitir um alerta sonoro quando a bateria estiver acabando</p>

Fonte – Desenvolvido pelo autor

desvantagem. A transferência de dados pode se dar de forma física (via cabo ou cartão de memória) caso necessário (ver seção 5.3.5). Os tópicos de sincronização e transferência dos dados por meio de comunicação sem fio são vistos mais a fundo no subsistema de comunicação (seção 5.3.6).

5.3.2 Subsistema de informação de estado

Para interagir com o produto, além de uma interface para realizar suas ações, o usuário precisa de feedback sobre o efeito que estas têm sobre ele. O sistema deve prover esse feedback para indicar três estados do módulo: ligado/desligado e gravando, além de um estado adicional de “bateria acabando”, levantado analisando-se os possíveis erros de uso na Tabela 9. Foram geradas alternativas de solução para a comunicação de cada estado (11):

As alternativas foram analisadas:

1. Para identificar os estados ligado/desligado, um indicador luminoso é utilizado em uma ampla gama de equipamentos eletrônicos (eg computadores, caixas de som, monitores). Ele permite a verificação rápida do estado do módulo sem recorrer a outros equipamentos. Alternativamente, a verificação por meio do dispositivo receptor adicionaria etapas ao

processo de verificação, e não permitiria a identificação do estado pelo módulo independentemente, longe do receptor.

2. O estado “gravando” costuma ser comunicado em equipamentos eletrônicos através de indicadores luminosos, geralmente da cor vermelha (em câmeras) e piscantes (em gravadores). A informação desse estado ao usuário serve para que ele se certifique de que o movimento que está realizando está sendo capturado. Entretanto, indicações luminosas piscantes também são utilizadas em certos equipamentos (como smartphones) para indicar que a bateria do dispositivo está acabando. A utilização de um indicador luminoso multicolorido pode permitir ao usuário distinguir entre o estado ligado (uma cor) e gravando (outra cor). O uso do sistema receptor para comunicar se os módulos estão gravando pode ser complementar ao indicador luminoso, mas sofre das mesmas limitações citadas no parágrafo anterior.
3. Analogamente, o estado de “bateria acabando” pode ser comunicado através de um indicador luminoso piscante, da vibração de um motor no módulo ou de um alerta sonoro emitido por ele. Como esse é o único estado que é ativado pelo sistema e não diretamente pelo usuário, deve-se levar em conta que o atleta pode não estar esperando que o módulo mude de estado, e portanto não estar olhando para o módulo, ou possibilidado de olhar para ele (caso esteja nadando). O mesmo motivo torna ineficaz a comunicação deste estado pelo dispositivo receptor, que pode não estar ao alcance ou no campo de visão. Um motor de vibração/emissor sonoro (como um *buzzer* piezoeletrico, utilizado em relógios) pode permitir ao usuário sentir que houve uma mudança de estado mesmo que o módulo esteja fora do campo de visão e o dispositivo receptor esteja longe.

A necessidade de se verificar o estado do módulo sem recorrer ao dispositivo receptor fez com que se optasse por **um indicador luminoso com três variações de cor para identificar os estados ligado, gravando e bateria acabando. Adicionalmente, o usuário deve ser capaz de verificar o estado da bateria do módulo através de indicações por LED, e ser alertado de que a bateria do módulo está acabando por um alerta sonoro de um buzzer piezoeletrico**, útil caso o módulo não esteja no campo de visão do usuário. A escolha de um buzzer em detrimento de um motor de vibração é sua reduzida complexidade mecânica e gasto energético. As limitações energéticas, analisadas à frente, no subsistema de alimentação (seção 5.3.7) requerem que o tempo que os LEDs ficam ligados seja dimensionado apropriadamente. Um esquema conjunto de interface e identificação é apresentado na Tabela 12:

5.3.3 Subsistema de identificação do módulo

No fluxograma de estados e ações apresentado na Figura 37, alguns dos erros possíveis de ser cometidos pelo usuário levavam em conta que ele não conseguisse identificar corretamente o módulo que estava usando. Isso pode acontecer quando diversos usuários se juntarem para

Tabela 12 – Ações permitidas pela interface do módulo e seu respectivo feedback

Ação	Comando (pressionamento do botão)	Feedback (do LED e/ou buzzer)
Ligar	Toque de 2 segundos quando desligado	Luz azul se mantém acesa durante 60 segundos
Gravar	Toque de 2 segundos quando ligado	Luz verde pisca durante 60 segundos - gravando
Terminar de gravar	Toque de 2 segundos quando gravando	Luz verde se mantém acesa por 2 segundos, módulo emite um alerta sonoro
Verificar estado do módulo e bateria	Toque curto a qualquer momento	Luz verde ou azul piscam, dependendo de qual o estado do módulo. O número de vezes que a luz pisca indica a quantidade de bateria restante. 5 vezes: bateria máxima, 1 vez: bateria acabando.
Desligar	Toque de 5 segundos	Alerta sonoro
Módulo indica “Bateria acabando”;	N/A	Módulo emite 5 alertas sonoros

Fonte – Desenvolvido pelo autor

Tabela 13 – Alternativas físicas de identificação

Aternativas físicas de identificação	Cores dos módulos podem ser diferentes ou personalizáveis Cada módulo pode ter um QR code (ou identificador similar) único impresso em seu exterior
Aternativas digitais de identificação	Um chip de NFC na carenagem do módulo pode conter um código identificador único, lido pelo dispositivo receptor O dispositivo receptor pode enviar um comando de “emitir som”; e/ou “piscar luz”; para o módulo que quer identificar

Fonte – Desenvolvido pelo autor

usar seus módulos coletivamente, e depois esquecerem em que local do corpo cada um foi colocado. Para contornar esse problema, foram geradas alternativas que permitam a identificação dos módulos, separadas em alternativas físicas e digitais (Tabela 13):

As alternativas físicas de identificação têm desvantagens em relação à:

1. Complexidade de implantar e assegurar que um sistema de personalização por cor seja suficientemente diverso para que dois a cada 15 módulos não tenham a mesma aparência;
2. Necessidade de uma superfície suficientemente grande e reta para aplicação de um QR code ou similar impresso, e uso de uma câmera de smartphone para lê-lo (algo que poderia ser difícil de ser realizado com um computador, por exemplo);

Entre as alternativas digitais, a utilização de um chip NFC não seria ideal devido à não

ubiquidade de hardware para leitura de NFC em smartphones e computadores, em comparação com Bluetooth, por exemplo. Em contraste, utilizando um protocolo de rede sem fio como o já citado Bluetooth ou Wi-Fi, o dispositivo receptor teria acesso à uma lista de dispositivos ao alcance (como a lista de redes sem fio disponíveis no menu de um celular, por exemplo), e poderia dispor de um comando para que o usuário enviasse um comando de “ping” ou identificação para determinado módulo na lista. Em resposta, o módulo poderia piscar ou emitir som (ou ambos), e poderia ser identificado. Isso parte do pressuposto de que o usuário saberia o nome do seu módulo quando ele aparecesse na lista de dispositivos; assim, analogamente à redes sem fio, é pertinente que o usuário possa customizar o nome de seu módulo. No caso de um usuário que possui 15 módulos e não há problemas quanto a identificação de propriedade, esse processo ainda é necessário para que se saiba onde cada módulo foi vestido: é necessário, para o processamento dos dados, saber em que posição estava cada um dos módulos que transferiu informações para o receptor. Assim, **a identificação dos módulos se dará utilizando o dispositivo receptor, que enviará comandos de emissão de som e piscar de luzes para os módulos, selecionáveis em uma lista e com nomes customizáveis.**

5.3.4 Subsistema de coleta de dados

Para coletar os dados de orientação dos segmentos do corpo e aceleração do centro de massa que permitirão recriar o movimento do usuário tridimensionalmente, serão utilizados IMU's (unidades de medição inercial, vistos na seção 2.6.2.2) - conjuntos de sensores iniciais ortogonais que captam aceleração e velocidade angular em três eixos. Para informar a decisão sobre qual IMU utilizar, fez-se uma comparação de diferentes modelos, apresentada na Tabela 14.

Essa comparação levou em conta o preço do produto no país de origem, sua disponibilidade no Brasil, o preço contando o custo de importação, a quantidade de eixos de medição (3 de acelerômetros, 3 de giroscópios - se houver, 3 de magnetômetros - se houver - e mais um barômetro em um dos produtos analisados), o grau de documentação do DMP (*digital motion processor*, processador digital de movimento), que é um componente do IMU capaz de realizar cálculos com os dados captados sem necessidade de um processador externo; e a integração ou não de um GPS no IMU. Como o foco do produto é o uso em piscinas, dificilmente maiores do que 50m, a presença de um GPS no IMU não foi considerada relevante. Então, os fatores considerados de maior relevância para a aplicação foram:

1. Presença de acelerômetro e giroscópio, que serão os dois tipos de sensores utilizados. Os demais sensores não são necessários (Isso já permite excluir o X6-2mini, que não possui giroscópio);
2. Disponibilidade e preço no Brasil, visto que o IMU é um componente básico do sistema que será replicado 15 vezes para se obter a captura do movimento;

Tabela 14 – Modelos e características de alguns INS

	Adafruit 9-DOF	MPU 6050	MPU 9250	X6- 2mini ²	uINS-2	Physilog 4 Silver ²	Physilog 4 Gold ²
Custo em Reais	76	16	24	540	3.600	5.300	7.100
Disponível no Brasil	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
Estimativa de custo total ¹	460	N/A	335	1.300	5.600	10.600	14.100
Quantidade de eixos	9	6	9	6	9	10	10
DMP / Sensor Fusion documentado	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Sim
Chip integrado a um GPS	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Sim

Fonte – Desenvolvido pelo autor, com informações de (INVENSENSE, sem anoa), (INVENSENSE, sem anob) (ADAFRUIT, sem ano) (CONCEPTS, sem ano). (GAITUP, sem anoa)

¹ – Considerando impostos e frete, para 1 peça. Calculado com o www.tributado.net, considerando-se um frete de 40 dólares (UPS), e cotação do dólar: 3,42 reais e franco suíço: 3,55 reais.

² – São produtos completos, prontos para o uso

3. Documentação do DMP/Sensor Fusion, que permite simplificar o processamento dos dados, realizando operações no próprio chip (alternativamente, essas operações podem ser realizadas por um processador discreto no módulo, mas este precisará ser mais potente);
4. Capacidade de medir os valores apropriados de aceleração e velocidade angular requeridos pela aplicação.

Nota-se que a Tabela 14 não leva em conta o último fator levantado. Portanto, foi feita uma nova comparação dos IMU's, mostrando os intervalos de medição possíveis e a resolução das medições (Tabela 15). Os fatores considerados na nova comparação foram:

1. Intervalos de medição selecionáveis, em g (g sendo a aceleração da gravidade: 9,8m/s²): A maioria dos IMU's permite que o usuário escolha entre diversos intervalos de aceleração mensurável. Isso significa que um mesmo sensor inercial poderá captar dados de até +2g, com maior resolução, ou de até +16g, com menor resolução. Isso ocorre porque o sensor capta a aceleração como uma variação de voltagem (ou seja, um valor analógico contínuo), mas precisa traduzi-lo para um valor digital para que seja compreendido por um computador. Essa tradução, chamada de conversão A/D (análogica para digital), faz com que o valor contínuo de voltagem seja discretizado (ou seja, atribui-se um determinado número de valores possíveis dentro do intervalo). O número de valores discretos dentro do intervalo pode ser considerado como a resolução dele; quanto mais valores, mais o

valor discreto se assemelhará ao valor contínuo de voltagem. Os IMU's tratam isso da seguinte forma: como a saída do sensor será sempre de um determinado tamanho digital (por exemplo, um número de 0 a 100), a possibilidade de alterar o intervalo de medição faz com que um valor de 100 possa significar 2g ou 16g, no mesmo IMU, dependendo da escala escolhida. Ou seja, sacrifica-se a resolução em virtude da magnitude, e vice-versa. Isso é uma solução econômica, visto que a maioria dos IMU's trabalha com saídas digitais de 16 bits², que permitem a representação máxima de 2^{16} (65536) valores discretos. Para conseguir uma resolução maior do que esta, seria necessário aumentar o tamanho da saída digital (chamada de tamanho da variável inteira), o que tornaria as operações mais complexas e requereria mudanças no hardware envolvido.

2. Divisões possíveis de 1g, de acordo com o intervalo selecionado: como visto acima, há um *trade-off* entre magnitude e resolução. Quando o sensor está no seu intervalo máximo de medição, a resolução (ou seja, quantas divisões discretas de 1g são possíveis) diminui.
3. Intervalos de medição selecionáveis, em graus/segundo: Similarmente aos acelerômetros, e pelo mesmo motivo, boa parte dos IMU's permite ao usuário selecionar intervalos de medição para velocidade angular. Na maioria dos sensores, esses intervalos variam de +- 250 graus por segundo à +-2000 graus por segundo.
4. Divisões possíveis de um grau de acordo com o intervalo selecionado: em até quantas divisões discretas pode-se expressar uma variação de ângulo, dependendo do intervalo de medição selecionado.
5. Tamanho da variável inteira do acelerômetro (em bits): como visto acima, é o tamanho da variável inteira que define em quantos valores discretos será dividido um certo intervalo analógico. Quanto maior for este tamanho, mais valores poderão ser utilizados para exprimir o mesmo intervalo, mas serão necessários maiores tempos de processamento e maior espaço de armazenamento para tratar a informação.
6. Tamanho da variável inteira do giroscópio (em bits): Idem ao anterior.

A comparação nos permite ver que (i) os valores de tamanho da variável inteira, quando informados, são todos 16 bits, com exceção do X6-2mini; (ii) os intervalos de medição selecionáveis são similares entre os IMU's, com apenas o uINS-2 não permitindo a seleção de intervalos menores do que +-16g; (iii) apesar dos tamanhos da variável inteira do serem idênticos, os MPU's 6050 e 9250 têm resolução mais de 10 vezes maior do que o Adafruit 9DOF; (iv) o tamanho da variável inteira do uINS-2 não está disponível, porém, por ele permitir resoluções 4 vezes maiores do que os MPU's no intervalo de +-16g, estima-se que seja de pelo menos 18 bits (2^{18}). De posse dos valores de intervalos e resoluções máximas, precisamos determinar quais são

² Um bit é o menor pedaço de informação tratado por computadores, e pode ter dois possíveis valores: 0 ou 1. Assim, uma sequência de x bits pode ser usada para representar 2^x valores distintos em uma escala discreta

Tabela 15 – Comparaçao de intervalos e resoluções de medição dos modelos de INS

Adafruit 9-DOF	MPU 6050	MPU 9250	X6-2mini	uINS-2	Physilog 4 Silver	Physilog 4 Gold
Intervalos de medição selecionáveis, em g	+ - 2 a + - 16	+ - 2 a + - 16	+ - 2 a + - 16	+ - 2 a + - 16	+ - 16	+ - 2 a + - 16
Divisões possíveis de 1g, de acordo com o intervalo selecionado	1000 a 83,3	16384 a 2048	16384 a 2048	N/A	8196	N/A
Intervalos de medição selecionáveis, em graus/segundo	+ - 250 a + - 2000	+ - 250 a + - 2000	+ - 250 a + - 2000	- ¹	+ - 2000	N/A
Divisões possíveis de um grau, de acordo com o intervalo selecionado	114,2 a 14,2	131 a 16,4	131 a 16,4	- ¹	131	N/A
Tamanho da variável inteira do acelerômetro (em bits)	N/A	16	16	12 a 16	N/A	N/A
Tamanho da variável inteira do giroscópio (em bits)	N/A	16	16	- ¹	N/A	N/A

Fonte – Desenvolvido pelo autor, com informações de (INVENSENSE, sem ano), (INVENSENSE, sem anob) (ADAFRUIT, sem ano) (CONCEPTS, sem ano). (GAITUP, sem ano)

¹ – Modelo não possui giroscópio

os intervalos e resoluções requeridos pela aplicação (no caso, captura do movimento na natação), para escolher os sensores:

1. Para dimensionar aceleração máxima que poderia ser captada em um módulo na lombar (aproximando o centro de massa), pode-se tomar como parâmetro a aceleração no momento de início de uma prova de velocistas, quando o atleta pula do bloco de partida em direção à água (como visto na seção 2.3.6, esse é o intervalo de maior velocidade - e aceleração - do centro de gravidade do nadador). Mason, Alcock e Fowlie (2007), analisando 8 nadadores, obteve como maior valor uma aceleração média de $5,83\text{m/s}^2$ (de um atleta campeão nacional) durante 0,8s (o tempo do início do movimento até o atleta deixar de tocar o bloco). Os valores de aceleração máxima dentro desse intervalo de tempo não foram disponibilizados. Assumindo que a variação de aceleração neste intervalo de tempo não foi extrema, a amplitude máxima de aceleração necessária para o módulo poderia ser definida como $+ - 5,83/9,8 =$ aproximadamente $0,59\text{g}$. Isso é um valor aproximadamente 4 vezes menor do que o intervalo mínimo disponibilizado pelos sensores analisados ($+ - 2\text{g}$). Entretanto, a aceleração do centro de gravidade não é necessariamente a mais alta entre os segmentos do corpo. Segmentos como o braço, por exemplo, podem ter acelerações muito mais altas - isso deve ser levado em conta caso o módulo esteja sendo usado para captar informações de aceleração de uma dessas partes do corpo, quando for utilizado

como fitness tracker, por exemplo. Callaway (2015), utilizando acelerômetros na lombar, pulsos e braços, encontrou picos absolutos de aceleração de 25m/s^2 , nos braços. Para poder detectar essas acelerações, o sensor teria que ter uma resolução de pelo menos $+25/9,8=2,55\text{g}$. O intervalo mais próximo nos IMU's analisados é de $+4\text{g}$.

2. As resoluções máximas possíveis dos IMU's são coincidentes com os intervalos mínimos de captura dos IMU's ($+2\text{g}$): $+1000$ no Adafruit-9DOF; $+16384$ nos MPU's 6050 e 9250; e 8096 no uINS-2 (que só aceita intervalos de $+16\text{g}$). A maior dessas resoluções, do MPU, permitiria discernir variações de aceleração de $9,8/16384 = 0,0005 \text{ m/s}^2$. Ou seja, se o sensor se mover menos de $0,5$ milímetros em um segundo, partindo do repouso, seu movimento não será detectado pelo MPU. Essa quantidade de movimento está muito abaixo da escala tratada na prática de natação. Assim, resoluções menores (e intervalos maiores) seriam praticáveis. Aumentando o intervalo de medição do MPU 6050 ou 9250 para $+4\text{g}$, a resolução cai pela metade, para 8192 , e aumentando para $+8\text{g}$, cai para 4096 . Com o maior intervalo possível, de $+16\text{g}$, a resolução é de 2048 . Isso significa que o menor movimento detectável para cada intervalo seria de $1,1$, $2,3$, ou $4,6$ milímetros em um segundo, partindo do repouso, respectivamente.
3. A velocidade angular será a medição fundamental na maioria dos sensores, em diferentes partes do corpo, para a captura do movimento. Fleisig, apud Physics... (2010), definiu que a maior velocidade angular realizada pelo corpo humano é de $8500^\circ/\text{segundo}$, no ombro de jogadores de beisebol, ao lançarem a bola. Essa velocidade é sustentada por $0,03$ segundos. Nenhum dos IMUs da lista permite uma magnitude de intervalo tão extensa, então é necessário buscar outro parâmetro, mais adequado à realidade da aplicação. Um dos movimentos que possivelmente contém a maior velocidade angular são as fases aéreas das braçadas, não sujeitas à resistência da água, especialmente a do Crawl, estilo mais veloz (ver seção 2.2.1). Estimando que o atleta execute uma rotação de 180° do ombro durante essa fase aérea, em um intervalo de $0,20$ segundos (para atletas medalhistas olímpicos (MAGLISCHO, 2010)), teríamos uma velocidade angular média de $900^\circ/\text{s}$. Essa velocidade é compreendida, com uma margem de segurança, dentro do intervalo de $+2000^\circ$.
4. Com a amplitude de $+2000^\circ$, um grau pode ser dividido em aproximadamente 16 intervalos discretos no MPU 6050 e 9250 e 131 no uINS-2. Isso significa que uma rotação menor do que $0,06^\circ$ em um segundo, partindo do repouso, não seria captada pelos MPU's, ou menor do que $0,007^\circ$ para o uINS-2. Ambas velocidades de rotação foram consideradas muito baixas para impactar a aplicação.

Assim, considerou-se que tanto o MPU-6050, o MPU-9250 e o uINS-2 são apropriados para a utilização na natação. Para decidir qual o sensor utilizado, eles foram analisados pela perspectiva dos outros 3 fatores levantados anteriormente: (i) preço: 200 vezes mais alto no uINS-2 sobre os outros, por unidade, sem contar tributos de importação; (ii) disponibilidade no Brasil, que

no tempo de realização deste projeto é característica apenas do MPU-6050; e (iii) documentação do DMP/Sensor Fusion, requisito que todos os três satisfazem. **Dessa forma, decidiu-se que o MPU-6050 é o IMU mais apropriado para ser utilizado neste projeto. A escala de aceleração e velocidade angular utilizadas serão de +4g e 2000°/s, respectivamente.** Um aspecto importante da escolha do MPU-6050 é que seu DMP pode fazer cálculos com os dados de aceleração e velocidade angular sem depender de processadores externos. A forma como o DMP funciona, entretanto, ainda está sendo compreendida através de esforços continuados de engenharia reversa:

Devido à falta de uma boa documentação publicamente disponível sobre o funcionamento interno deste dispositivo [MPU 6050], todas as informações relacionadas com a DMP têm sido obtidas através de engenharia reversa, a partir de análise de sinais I2C correlacionados com o software Embedded MotionApps, fornecido pelo empresa. Este esforço de descoberta está incompleto e em curso, e deve resultar em uma biblioteca que suporte completamente o DMP. Atualmente, o código fonte disponível só irá fornecer a configuração básica do dispositivo e leituras de aceleração / giroscópio (o que é certamente útil, mas que falha ao entregar o principal ponto de venda da série MPU-6000, que é a capacidade de processamento de movimento pelo dispositivo) (ROWBERG, sem ano).

Isso permite duas possíveis formas de lidar com os dados coletados pelos sensores: (i) usar o DMP do MPU-6050, permitindo que ele transforme os valores de velocidade angular e aceleração, em valores de orientação e posição, e estes sejam então armazenados na memória do módulo; (ii) não utilizar o DMP e coletar os dados brutos de aceleração e velocidade angular, e depois tratá-los com outros métodos numéricos, como filtro complementar ou filtro de Kalman (ver seção 5.3.9).

5.3.5 Subsistema de gravação dos dados

O subsistema de gravação é responsável por gravar os dados coletados pelos sensores no componente de armazenamento de dados. Um processador (alternativamente chamado de microcontrolador) é encarregado de receber os dados do IMU e os gravar em uma mídia digital (como um cartão de memória). Para dimensionar o espaço de armazenamento requerido, precisa-se fazer decisões sobre como os dados serão armazenados no formato digital. Basicamente, é preciso decidir quais dados serão armazenados, qual sua resolução em bits (o tamanho máximo do dado guardado) e qual sua taxa de amostragem (qual o intervalo de tempo entre uma gravação dos dados e a próxima). Essas decisões estão ligadas (i) à aplicação do produto e (ii) à viabilidade técnica. Seguindo o princípio de funcionamento do produto (explicado na seção 5.1), todos os módulos contarão com acelerômetros e giroscópios tri-axiais, e os valores de aceleração serão usados complementarmente aos de velocidade angular para determinar a orientação dos módulos no espaço, além de serem usados para determinar a posição do módulo na lombar. Assim, a Tabela 16 mostra os dados gravados pelos módulos no seu componente de armazenamento.

Onde T é o número da amostra. Essa tabela assume o armazenamento de dados brutos, mas o armazenamento de dados pré-processados pelo DMP (ou seja, orientação em vez de

Tabela 16 – Dados coletados pelos sensores e armazenados

T=0	Aceleração no eixo x	Aceleração no eixo y	Aceleração no eixo z	Velocidade angular em relação ao eixo x	Velocidade angular em relação ao eixo y	Velocidade angular em relação ao eixo z
T=1	Aceleração no eixo x	Aceleração no eixo y	Aceleração no eixo z	Velocidade angular em relação ao eixo x	Velocidade angular em relação ao eixo y	Velocidade angular em relação ao eixo z
T=2	Aceleração no eixo x	Aceleração no eixo y	Aceleração no eixo z	Velocidade angular em relação ao eixo x	Velocidade angular em relação ao eixo y	Velocidade angular em relação ao eixo z
T=...
T=n	Aceleração no eixo x	Aceleração no eixo y	Aceleração no eixo z	Velocidade angular em relação ao eixo x	Velocidade angular em relação ao eixo y	Velocidade angular em relação ao eixo z

Fonte – Desenvolvido pelo autor

velocidade angular) não mudaria o tamanho da tabela, portanto, o método explicado nessa seção serve para ambos os caminhos. Nota-se que os eixos de referência ortogonais x, y e z são específicos do sensor inercial, e não globais, ou seja, são dependentes da posição em que cada sensor for ligado. Para que isso não seja impeditivo ao funcionamento do sistema, estipulou-se algumas premissas de seu funcionamento:

1. Os sensores só podem ser vestidos em determinada orientação: por exemplo, um sensor no antebraço sempre terá seu eixo x coincidente com o eixo longitudinal do antebraço, apontando em direção à mão, e o eixo z apontando para fora do antebraço (logo, o eixo y, perpendicular a x, apontará na direção do mindinho se for usado no braço direito e do dedão se for usado no braço esquerdo).
2. A orientação de um segmento do corpo sempre levará em conta a do segmento anterior, e a geração da representação tridimensional partirá de “dentro para fora”: primeiro é lida a orientação da lombar, depois a dorsal, então a de braços, depois antebraços e depois mãos, cabeça, e coxas, depois pernas e depois pés.
3. Os sensores são calibrados para um referencial conhecido antes do uso (como visto no MVN na seção 4.2.2.2). A orientação dos giroscópios é resetada antes da gravação, com o usuário parado em uma posição pré-definida. Quando os dados forem utilizados para recriar o movimento, se saberá que os ângulos de orientação são referentes ao giroscópio iniciando a gravação em tal posição. Alternativamente, caso os giroscópios não possam ser resetados pelo dispositivo receptor na pose de calibragem (eg a gravação será iniciada

Tabela 17 – Dados coletados e armazenados usando múltiplos módulos

ID	Data início	T=0	Aceleração no eixo x	Aceleração no eixo y	Aceleração no eixo z	Velocidade angular em relação ao eixo x	Velocidade angular em relação ao eixo y	Velocidade angular em relação ao eixo z
ID	Data início	T=1	Aceleração no eixo x	Aceleração no eixo y	Aceleração no eixo z	Velocidade angular em relação ao eixo x	Velocidade angular em relação ao eixo y	Velocidade angular em relação ao eixo z
ID	Data início	T=2	Aceleração no eixo x	Aceleração no eixo y	Aceleração no eixo z	Velocidade angular em relação ao eixo x	Velocidade angular em relação ao eixo y	Velocidade angular em relação ao eixo z
...	...	T=...
ID	Data início	T=n	Aceleração no eixo x	Aceleração no eixo y	Aceleração no eixo z	Velocidade angular em relação ao eixo x	Velocidade angular em relação ao eixo y	Velocidade angular em relação ao eixo z

Fonte – Desenvolvido pelo autor

pelo botão físico), o processamento pode levar em conta o ângulo que apresentam quando parados durante certo intervalo de tempo, e utilizar aquele valor como referencial.

4. Há um referencial para sincronização do tempo entre os diferentes sensores, que será usado quando os dados de todos os módulos forem centralizados.

Essas premissas e a forma como a representação é criada são vistas mais a fundo nas seções 5.3.8 e 5.3.6 (para a sincronização).

Assim, tem-se que cada módulo armazenará uma tabela contendo três colunas de acelerações nos eixos do acelerômetro, e três colunas de velocidades angulares ou orientações, além de uma coluna contendo o número da amostra, ou frame. Além disso, se for utilizado mais de um módulo, é preciso que eles guardem mais dois dados: (i) data de início da gravação, para que as leituras dos sensores possam ser sincronizadas entre diversos módulos; e (ii) identificação do módulo (abreviadamente, ID), para que se saiba a origem dos dados coletados (Tabela 17)

Na tabela acima, nota-se que a data de início e ID de cada módulo não variam com o tempo. Assim, eles não precisam ser armazenados em colunas como os demais valores, mas podem, por exemplo, ser representados no nome do arquivo gerado (Tabela 18).

Ou seja, a gravação realizada pelo módulo resulta em um arquivo, de nome (Data de início)(ID), contendo uma tabela de 7 colunas e n linhas, onde n é o número de frames gravados até que o arquivo fosse fechado. Isso permite estimar quanto espaço será necessário para armazenar uma linha da tabela, sabendo-se o tamanho máximo de cada um dos dados:

1. Aceleração: como visto na seção 5.3.4, o acelerômetro do MPU-6050 têm uma saída

Tabela 18 – Dados coletados e armazenados usando múltiplos módulos, com arquivos nomeados

Nome do arquivo: (Data de início) (ID)						
	Aceleração no eixo x	Aceleração no eixo y	Aceleração no eixo z	Orientação em relação ao eixo x	Orientação em relação ao eixo y	Orientação em relação ao eixo z
T=0	Aceleração no eixo x	Aceleração no eixo y	Aceleração no eixo z	Orientação em relação ao eixo x	Orientação em relação ao eixo y	Orientação em relação ao eixo z
T=1	Aceleração no eixo x	Aceleração no eixo y	Aceleração no eixo z	Orientação em relação ao eixo x	Orientação em relação ao eixo y	Orientação em relação ao eixo z
T=2	Aceleração no eixo x	Aceleração no eixo y	Aceleração no eixo z	Orientação em relação ao eixo x	Orientação em relação ao eixo y	Orientação em relação ao eixo z
T=...
T=n	Aceleração no eixo x	Aceleração no eixo y	Aceleração no eixo z	Orientação em relação ao eixo x	Orientação em relação ao eixo y	Orientação em relação ao eixo z

Fonte – Desenvolvido pelo autor

digital (tamanho da variável inteira) de 16 bits. Assim, podemos dizer que cada um dos dados de aceleração em cada um dos três eixos terá um tamanho de 16 bits.

2. Velocidade angular: da mesma forma, o tamanho da variável inteira do giroscópio do MPU é de 16 bits.
3. Número do quadro: se for considerada uma taxa de gravação de 60 quadros por segundo³ (similar aos sistemas de videogrametria, como visto na seção 3.3), o tamanho máximo do número do frame variará com qual é a duração máxima de gravação em um arquivo único permitida. Uma duração maior resulta em uma tabela mais longa, enquanto uma duração menor de quadros resulta em uma tabela mais curta - isso não significa que a gravação terá um tempo máximo, mas sim que podem ser criados múltiplos arquivos para armazenar os dados de cada gravação. Isso é relevante porque, se o módulo está escrevendo dados na mesma tabela durante muito tempo, há chances maiores de que uma possível falta de bateria ou outro erro impeça de conseguir salvar o arquivo corretamente. Assim, se o módulo gerar um arquivo diferente a cada minuto gravado, cada arquivo conterá uma tabela com 3600 linhas, e seriam necessários 4 dígitos decimais para descrever o frame atual, até um valor máximo de 3600, ou aproximadamente 12 bits ($2^{12} = 4096$). Entretanto, é possível descartar a necessidade de que exista uma coluna com o número do quadro, instruindo o software que lerá o arquivo a ler 6 conjuntos de valores e então considerar uma mudança de linha, e ler os próximos 6.

³ É importante notar que essa é a taxa de quadros por segundo para gravação, mas não para amostragem dos dados. Assim, o IMU pode amostrar dados em uma frequência maior, e o próprio DMP ou processador discreto realizar uma média deles e enviá-los para gravação

Assim, podemos definir o tamanho de cada linha como: (tamanho do comprimento de palavra)*(número de eixos) = (16)*(6) = 96 bits por linha. A 60 quadros por segundo, uma gravação de 1 minuto ocuparia $(96)*(3600)=345600$ bits e de uma hora $(345600)*(60)=20736000$ bits. Em termos mais comumente usados, isso geraria um arquivo de 2,47MB⁴. Para uma gravação do corpo inteiro, multiplica-se o valor por 15 para obter o tamanho total dos arquivos gerados por todos os módulos: 37MB. A esse valor deve ser somada a memória utilizada para guardar o nome do arquivo, que é composto de: Data de início da gravação: 14 dígitos decimais (e 5 hífens, para facilitar a legibilidade) para descrever a data até o segundo, no formato aaaa-mm-dd-hh-mm-ss, para permitir que o usuário comece uma gravação, cancele-a e possa começar outra gravação em um intervalo máximo de um segundo (questões referentes à sincronização da data de início para diferentes módulos são tratadas na seção 5.3.6). ID: a identificação de cada módulo deve ser única para impedir que dois ou mais módulos utilizados na gravação do movimento de um atleta gerem gravações com nomes iguais, o que não permitiria que os dados fossem processados corretamente. Um forma de impedir que isso ocorra é utilizando um Identificador Universalmente Único (*Universally Unique Identifier*, UUID), um identificador de 128 bits (que pode ser representado por 32 caracteres hexadecimais letras minúsculas ou números) gerado aleatoriamente.⁵ A representação canônica do UUID é de 32 caracteres hexadecimais e 4 hífens. Somando-se um underline para dividir a data do UUID, mais 4 dígitos para definir a extensão do arquivo (.dat, uma extensão genérica para arquivos binários), teríamos 60 caracteres totais, com cada caractere ocupando 8 bits (ou um byte). A memória ocupada pelo nome do arquivo, então, é de aproximadamente 6×10^{-5} MB, desprezível em comparação ao tamanho do arquivo em si. Alternativamente, os dados podem ser gravados não em um formato binário arbitrário (que a princípio só poderia ser lido por um software projetado para o produto), mas em um formato genérico, como CSV (*comma separated values*, valores separados por vírgula), que permitiria que os dados fossem processados por diversas aplicações. Para utilizar esse formato, precisamos transformar as saídas binárias de 16 bits dos sensores em caracteres de texto. Como o MPU pode enviar valores de até 65600 de cada eixo, temos 5 caracteres mais 1 caractere separador para cada eixo, mais 2 caracteres para representar o fim da linha e o início de uma nova. Como o último valor de uma linha não precisa de um separador depois dele, temos $(6)*(6)+1$ caracteres por linha, ou 37. Com cada caractere de texto ocupando 8 bits de armazenamento, temos 296 bits por linha (cerca de três vezes mais do que da forma binária). Em formato CSV uma gravação de uma hora de 15 módulos ocuparia aproximadamente 114MB. Para fins de comparação, um arquivo de vídeo de mesma duração e taxa de quadros por segundo poderia ocupar de 26,9GB⁶ a 1,19TB⁷, dependendo da taxa de compressão; utilizando 6 câmeras, como em um setup de videogrametria,

⁴ megabytes, obtidos dividindo-se o valor em bits por 8, depois por 1024, e depois novamente por 1024

⁵ A chance de dois UUID's gerados aleatoriamente serem idênticos é muito baixa: se fossem gerados 1 bilhão de UUID's por segundo durante os próximos 100 anos, a probabilidade de que dois deles fossem iguais seria de 50%. https://en.wikipedia.org/wiki/Universally_unique_identifier#Random_UUID_probability_of_duplicates

⁶ 1 gigabyte equivale a 1024 megabytes

⁷ 1 terabyte equivale a 1024 gigabytes

esse valores aumentariam para 161,4GB e 7,14GB⁸ (vale lembrar que a duração útil de vídeo é muito menor do que o tempo total gravado, visto que a área calibrada na videogrametria é percorrida pelo atleta em cerca de 2 segundos a cada volta). Assim, um dos benefícios do uso do produto é a baixa quantidade de armazenamento digital requerida pelas suas gravações, em comparação com a utilizada por sistemas de vídeo (de fato, isso foi levantado como problema da videogrametria pelos usuários, na seção 3.3).

Visto que ao fim de cada gravação é condicional para a visualização e análise do movimento gravado que os dados sejam transferidos para o dispositivo receptor, podemos dizer que a capacidade de armazenamento máxima do módulo deve ser igual à duração máxima de gravação contínua. Considerando-se que a aplicação primária do produto é a gravação do movimento do corpo do nadador, pode-se dizer que o tempo usual de gravação será aproximadamente o de uma aula de natação (aproximadamente uma hora). O tempo máximo de natação contínua realizada por uma pessoa dificilmente será maior do que alguns dias, o que requereria uma quantidade de armazenamento baixa para padrões atuais de dispositivos eletrônicos. Entretanto, caso o módulo esteja sendo utilizado como fitness tracker, as gravações serão contínuas durante períodos mais longos de tempo, até semanas. O que definirá a quantidade de armazenamento apropriada é (i) quanto tempo o módulo ficará sem se comunicar com o dispositivo receptor, para transferir os dados armazenados, e (ii) qual o formato do arquivo de gravação gerado, binário ou CSV. Assim, considerando-se que um módulo grave continuamente por um mês, o espaço ocupado será de $2,47\text{MB} \times 24 \times 30 = 1778,40\text{MB}$, aproximadamente 1,77GB, com arquivos binários, ou $7,62\text{MB} \times 24 \times 30 = 5486,40\text{MB}$, aproximadamente 5,46GB, com arquivos CSV. Isso parte do pressuposto de que ele não se comunicou com o dispositivo receptor durante todo este tempo, ou seja, o usuário ficou um mês sem visualizar ou analisar os dados enquanto os gravava. Como esse é um caso extremo, optou-se por considerar que a memória do módulo seja suficiente para cumprir os requisitos de espaço usando arquivos binários, e que o usuário possa escolher qual tipo de arquivo quer gerar ao iniciar a gravação, no dispositivo receptor. Assim, se o usuário planeja realizar uma gravação muito prolongada, pode escolher o formato binário para economizar armazenamento. Nota-se também que o software no dispositivo receptor pode prover a função de converter os dados em formato binário para formato .CSV, e vice-versa. Essa quantidade de memória é trivialmente disponível em forma de chips de memória flash (como a presente em um pen drive, por exemplo), mais compactos e velozes do que discos rígidos. Entretanto, uma propriedade intrínseca desse tipo de memória é sua degradação ao longo do tempo: os chips suportam, em média, dez mil ciclos de gravação (ou seja, o armazenamento pode ser completamente preenchido dez mil vezes) (FLASH..., 2012). Essa quantidade de ciclos é suficiente para que um usuário tenha que gravar quantidades de tempo muito altas para correr o risco de excedê-las, mas, mesmo que isso ocorra, a utilização de um componente de memória removível, como um cartão de memória, permitiria o fácil reparo do módulo. Outra possibilidade criada ao se utilizar um cartão de memória são a customização de tamanhos de armazenamento

⁸ considerando uma resolução HD de 1280x720, calculado usando <http://toolstud.io>

para diferentes usos, por exemplo. Um padrão vastamente difundido é o de cartões SD (Secure digital). Estes cartões são utilizados em máquinas fotográficas e gravadores, por exemplo. Uma versão miniaturizada do padrão, chamada de microSD, é utilizada em grande parte dos smartphones atuais. Dada sua fácil disponibilidade e compatibilidade com diversos produtos, **definiu-se que o componente de armazenamento do produto será um cartão microSD de capacidade 2GB**, e que o produto permita sua troca pelo usuário para suprir necessidades particulares de armazenamento ou conserto.

5.3.6 Subsistema de comunicação

A comunicação dos módulos com o dispositivo receptor pode ocorrer de diversas formas: (i) os dados armazenados em cada módulo podem ser transferidos via conexão USB; (ii) os cartões de memória de cada módulo podem ser retirados e inseridos no dispositivo receptor para serem transferidos; (iii) os módulos podem se comunicar utilizando uma interface de comunicação sem fio. Ao analisar estas alternativas, é importante observar que, para gravação do movimento completo do usuário, são necessários 15 módulos (ver seção 5.1). Isso efetivamente multiplica as operações de transferência de dados por 15: seriam necessárias 15 portas USB em um dispositivo para centralizar as gravações de todos os módulos simultaneamente, ou realizar a operação 15 vezes com uma porta; seria necessário abrir os 15 módulos para retirar seus cartões de memória, e recolocá-los após a transferência. O meio de comunicação que menos sofre os efeitos dessa escalabilidade é a interface sem fio. Protocolos wireless costumam ser usados em wearables compostos de múltiplos módulos, como visto na seção 5.1.2.4. A escolha do protocolo mais apropriado levou em conta:

1. Gasto energético: interfaces wireless costumam ser o componente responsável pelo maior gasto de energia em um wearable (seção 5.1.2.4). Escolher um protocolo que tenha um baixo gasto de energia ajuda a prolongar a vida útil da bateria do módulo.
2. Taxa de transferência: a taxa de transferência de cada protocolo wireless é variável, mas valores médios podem ser utilizados para compará-los.
3. Ubiquidade: como este projeto não prevê a criação de um dispositivo receptor dedicado para os módulos, se faz necessário escolher um protocolo de transferência que seja comumente usado em smartphones e computadores.

Segundo Lee, Su e Shen (2007), os protocolos Bluetooth e ZigBee são mais adequados para aplicações de baixa taxa de transferência de dados e capacidade limitada de bateria, devido ao seu baixo consumo energético, enquanto os protocolos UWB (*Ultra Wide Band*) e Wi-Fi são preferíveis para aplicações que precisem de alta taxa de transferência de dados, como câmeras de segurança, ao custo de um maior gasto energético. Como vimos na seção /refsubsistemaGravação, o tamanho dos arquivos referente à uma hora de gravação dos sensores seria de 2,47MB usando o

formato binário ou 7,60MB usando o formato CSV. Isso caracteriza como baixas as necessidades de taxa de transferência do sistema. Entre os protocolos indicados para esse caso (Bluetooth e ZigBee), o mais utilizado em smartphones e computadores é o Bluetooth (utilizado em fones de ouvido mouses e teclados sem fio). No caso de computadores antigos que não possuem suporte ao protocolo podem ser adaptados utilizando um conversor Bluetooth/USB, amplamente disponível em lojas de informática. Uma revisão do protocolo Bluetooth, o Bluetooth LE (*Low Energy*), ou Smart, permite consumos energéticos ainda menores, e é amplamente utilizado em fitness trackers. Entretanto, sua taxa de transferência é significativamente menor, sendo não maior do que 100 kilobits/s⁹. Isso significa que, ao fim de uma sessão de uma hora de natação, a transferência dos dados (em formato binário) de cada módulo para o dispositivo receptor levaria cerca de 3 minutos. Usando o Bluetooth clássico, com uma taxa de transferência nominal de 2000kilobits/s, esse tempo cairia para cerca de 10 segundos (NILSSON; SALTZSTEIN,). Como o componente Bluetooth não é requisitado pelo sistema a maior parte do tempo, estratégias de economia de energia podem ser utilizadas (ver seção 5.3.7). Outra função do subsistema de comunicação é permitir que o usuário interaja com os módulos através do dispositivo receptor. Essas interações, levantadas nas seções /refsubsistemaInterface e 5.3.3, contemplam: iniciar e terminar gravações e identificar o módulo. Através de comunicação Bluetooth, o dispositivo receptor poderá ver uma lista dos módulos próximos, e enviar comandos de identificação (ordenando que o módulo pisque sua luz e vibre), além de verificar se os módulos estão gravando, e enviar comandos de começar/terminar gravação. Além disso, o dispositivo receptor é responsável por sincronizar os módulos antes da gravação, para que os dados coletados por diversos módulos possam ser corretamente fundidos. Isso se dá através da criação de uma rede entre todos os módulos e o dispositivo receptor, que envia uma assinatura de tempo a todos simultaneamente. Essa sincronização pode ser integrada ao comando “começar a gravar”, e ocorrer sem necessidade de ordem explícita do usuário: ao enviar o comando de começar a gravar para o grupo de módulos conectados, o dispositivo receptor faz com que todos os módulos começem a gravar em um novo arquivo com a mesma exata data, enviada por ele; ao terminar a gravação, o dispositivo receptor ordenará que os módulos parem de gravar seus dados em arquivos. Isso permite que os dados de todos os módulos estejam sincronizados ao nível dos frames, e a reconstituição do movimento seja fiel à realidade. Caso os módulos sejam desligados ou sua bateria acabe antes de receberem o comando de terminar gravação, os dados já gravados ainda estarão sincronizados, e podem ser centralizados posteriormente. Embora o Bluetooth permita a criação de redes (chamadas *piconets*) com no máximo 8 dispositivos, 1 deles agindo como mestre (no caso o dispositivo receptor), é possível que cada um dos outros 7 aja como mestre de outra rede, e assim por diante, possibilitando a criação de redes virtualmente infinitas, chamadas *scatternets*. Como o sistema comprehende a utilização de 15 módulos, é necessário criar uma *scatternet*. A distribuição das redes pode ter diversas configurações, partindo do dispositivo receptor como mestre. Uma possibilidade é subdividir cada membro ou região do corpo em uma *piconet*: braço esquerdo

⁹ um kilobit são 1000 bits, ou um oitavo de kilobyte

(com três módulos), direito (com três módulos), perna esquerda (com três módulos) e direita (com três módulos), tronco (com dois módulos) e cabeça. Assim, o dispositivo receptor se conectararia com 6 módulos, e estes agiriam como mestres para os demais módulos em suas próprias redes. **Assim, definiu-se que cada módulo deva conter um transmissor/receptor adequado ao protocolo Bluetooth Low Energy para sua comunicação sem fio, responsável também pela sincronização dos módulos no início da gravação, utilizando uma assinatura de tempo enviada pelo dispositivo receptor.** Em casos onde as quantidades de dados acumulados sejam muito grandes, na ordem dos gigabytes, há a opção de transferência diretamente do cartão de memória, embora esse método requira um esforço maior do usuário, especialmente ao transferir dados de vários módulos.

5.3.7 Subsistema de alimentação

Os gastos energéticos do sistema dependem fundamentalmente dos componentes escolhidos. Estes são: (i) MPU-6050; (ii) Micro-controlador e slot para cartão micro-SD; (iii) Interface Bluetooth; (iv) LED RGB; (v) Buzzer piezoelétrico. Como o buzzer será utilizado esporadicamente, não foi considerado no cálculo. Como existe uma grande variedade de interfaces Bluetooth e microcontroladores disponíveis, tornou-se necessária a definição destes componentes. Levando em consideração as restrições de tamanho físico da aplicação, foi dada preferência à componentes SoC (*system on a chip*), que integrassem a interface Bluetooth e microcontrolador. Ainda assim, há diversos produtos que cumprem esse requisito, fabricados especificamente para o uso em wearables e sistemas similares. Foi escolhido um SoC que provesse uma interface de comunicação com o MPU (protocolo I²C) e com o cartão microSD. A Tabela 19 mostra os gastos energéticos de cada componente:

Tabela 19 – Gastos energéticos dos componentes escolhidos para o wearable

Componente	Voltagem de operação (V)	Corrente máxima (mA, com tensão de 3V)
MPU 6050	2.375 - 3.46	3.9
Microcontrolador + Interface Bluetooth (nRF51822)	1.8 - 3.6	11.8
LED RGB	3.0 - 3.2	20

Fonte – Desenvolvido pelo autor, usando dados de (INVENSENSE, sem anoa), (NORDIC, sem ano), (SPARKFUN, sem anob)

Essa tabela nos permite verificar dois pontos: O LED utilizado no sistema consome mais energia do que os demais componentes juntos; e a voltagem dos componentes gira em torno de 3V, embora isso não seja impeditivo, visto que o microcontrolador pode adaptar voltagens internamente para os demais componentes. Partindo destes dados, podemos somar os valores de correntes máximas para estimar o gasto de energia em uma hora (mAh): (3.9+11.8+20) = 35.7 (SPARKFUN, sem anoa). Estipulando que a fonte de alimentação será uma bateria, podemos

buscar um componente que tenha uma capacidade (em mAh) compatível com a aplicação, em termos de (i) tempo de uso e tamanho e (ii) poder ser recarregada/trocada (baterias não recarregáveis são chamadas de primárias, e recarregáveis, de secundárias). O primeiro é um trade-off, visto que, para uma mesma voltagem e tecnologia, a capacidade das baterias é diretamente proporcional ao seu tamanho (LIPOL, sem ano). Quanto à escolha entre uma bateria primária ou secundária, devem ser considerados fatores de usabilidade/sustentabilidade:

1. Se a bateria for primária e precisar ser trocada, o produto deve ser projetado para permitir a abertura pelo usuário de forma simples e evitando danos à vedação contra água; O mesmo é válido caso seja escolhida uma bateria secundária que precisasse ser recarregada fora do produto.
2. Dependendo do gasto energético, o número de baterias primárias utilizado aumentaria sensivelmente o impacto ambiental causado pelo produto ao longo de seu ciclo de vida, especialmente considerando o uso de 15 módulos (e, portanto, 15 baterias simultaneamente).
3. Baterias recarregáveis costumam ter capacidades menores, para um mesmo tamanho, do que baterias não recarregáveis (POWERSTREAM, sem ano). Assim, baterias de tamanho reduzido, como a “pilha de relógio” (CR-2032, de 20 milímetros de diâmetro por 3,2 milímetros de altura) teriam capacidade para prover energia para o módulo durante aproximadamente seis horas (uma Lir-2032 - recarregável - duraria cerca de uma hora). Baterias de Lítio-Polímero, também recarregáveis, oferecem uma densidade energética similar, mas em uma gama mais ampla de fatores de forma.

Assim, o uso de uma bateria primária (não recarregável) pode prover uma vida útil de bateria maior, mas requereria ao usuário abrir o produto para trocá-la (diversos wearables adotam esse sistema, como monitores cardíacos, além de outros equipamentos como ciclocomputadores - especialmente relevante é o Garmin HRM Swim, categorizado como resistente à água até 5ATM e que permite a abertura do produto pelo usuário para a troca de pilhas, embora necessitando de uma pequena chave Phillips (GARMIN, sem ano)). O uso de uma bateria secundária pode permitir que o produto possa ser recarregado sem ser aberto (por cabo de alimentação, por exemplo), e diminuiria a quantidade de resíduo gerada pelo sistema - mas requereria um volume maior para uma capacidade energética equivalente à uma bateria primária. Outra alternativa é utilizar uma bateria secundária de fator de forma padrão (como a Lir-2032) que permitiria ao usuário manter diversos sets de baterias prontos para o uso, e apenas trocá-los quando uma delas precisar ser recarregada. Uma alternativa para diminuir o consumo de energia é não manter o LED ligado o tempo todo, estratégia adotada por produtos similares, como o sensor de batimentos cardíacos Tickr X (NADA, a). Como o LED é responsável por mais da metade do gasto de energia, isso prolongaria a vida da bateria sensivelmente. Também deve-se levar em conta que os valores de corrente máxima considerados para os outros componentes dificilmente se manteriam durante todo o uso (ou seja, caracterizam o “pior cenário possível”). Explicitando essa variação

no gasto energético, plataformas usando a mesma combinação de IMU e microcontrolador divulgam uma vida útil de bateria de 40 dias contínuos com uma pilha CR2032 (TOTEM, sem ano). Considerando um gasto energético máximo de 15,7mAh (microcontrolador e MPU), uma pequena bateria recarregável conseguiria sustentar o uso do produto por pelo menos duas horas (embora valores reais possam ser significativamente maiores). Isso é o suficiente para a gravação de um treino de natação. Assim, definiu-se que o módulo utilizará uma bateria de **fator de forma 20 milímetros por 3,2 milímetros (pilhas de relógio), de capacidade de pelo menos 30mAh e tensão próxima a 3V**. A bateria poderá ser recarregável ou não, utilizando-se carregadores externos; isso exclui a necessidade de um sistema de alimentação de bateria embarcado em cada módulo, o que aumentaria seu peso e tamanho. Além disso, permite ao usuário trocar a bateria gasta por uma carregada (seja primária ou secundária) imediatamente, sem precisar esperar o carregamento de uma bateria embarcada. Isso o permite voltar a gravar rapidamente, caso a bateria tenha acabado durante uma gravação (isso é similar ao funcionamento de algumas câmeras, que permitem a troca de sets de baterias secundárias, para permitir o uso contínuo). Adicionalmente, definiu-se que o uso do LED deve ser minimizado, para economizar energia. Portanto, a indicação luminosa dos estados ligado e gravando durará 60 segundos após realizada a ação, apertando-se o botão físico por dois segundos, e um toque curto do botão fará o LED piscar uma vez para que se verifique o estado do módulo (ver Tabela 12).

5.3.8 Subsistema de suporte

O último dos subsistemas do espectro físico do produto é o de suporte. Sua função é acomodar todos os demais componentes do módulo, protegê-los da água, e permitir ao usuário prendê-lo às diversas partes do corpo. O projeto desse subsistema foi dividido em dois componentes: (i) invólucro e (ii) cinta.

5.3.8.1 Desenvolvimento do invólucro

O projeto do invólucro do módulo levou em conta os componentes escolhidos nos subsistemas anteriores e suas dimensões, apresentados na Tabela 20.

Para a disposição física dos componentes, considerou-se que todos, menos a bateria, precisam estar em um mesmo plano (do PCB¹⁰ para conectar todos os componentes acima), pois utilizar as trilhas sólidas do PCB para conectar os componentes ocupa menos espaço e é uma forma mais segura do que conectá-los utilizando fios. Isso resulta em duas possíveis disposições gerais: (i) PCB fica acima ou abaixo da bateria ou (ii) PCB e bateria ficam lado a lado. É necessário que a bateria não cubra o LED ou o botão. Foram geradas 5 alternativas de disposição dos componentes internos no PCB:

¹⁰ *printed circuit board*, placa de circuito impresso, é uma placa que contém trilhas de material condutor ligando os contatos elétricos de componentes soldados a ela

Tabela 20 – Dimensões e pesos dos componentes selecionados para o módulo

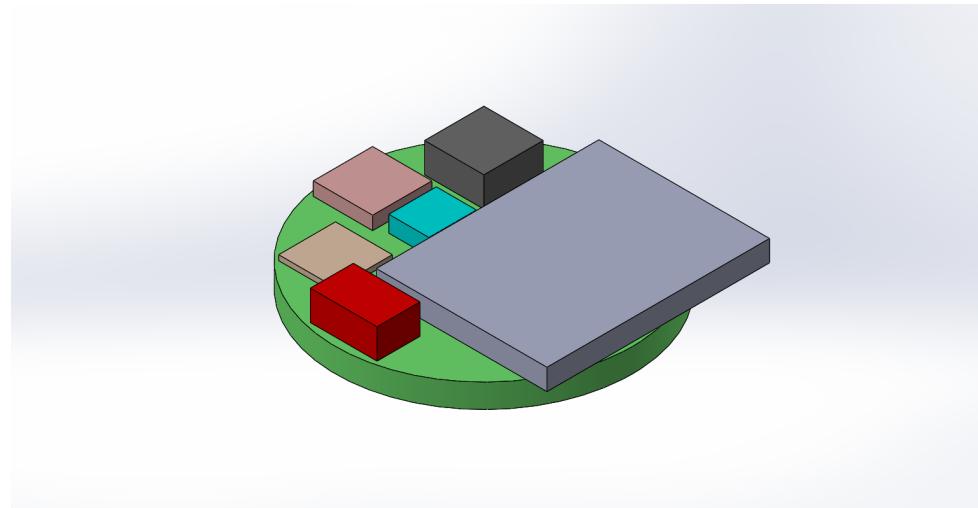
Componente	Dimensões, em milímetros (comprimento x largura x altura)	Peso em gramas	Peso estimado ¹
IMU (MPU-6050)	4 x 4 x 0,90	N/A	0,03
Microcontrolador e interface Bluetooth (nRF51822)	3,83 x 3,83 x 0,35	N/A	0,01
Slot para cartão microSD	11,50 x 11,95 x 1,42	0,259	-
Cartão microSD	11 x 15 x 1	0,5	-
Botão	4,5 x 2,9 x 2	N/A	0,06
LED RGB	3,2 x 2,7 x 1,1	N/A	0,02
Buzzer piezoelétrico	4 x 4 x 2	0,07	-
Bateria de relógio	20 (diâmetro) x 3,20	3	-
PCB	Comprimento e largura variáveis, altura de 1,6 (padrão mais comumente utilizado)	N/A	N/A

Fonte – (INVENSENSE, sem anoa), (NORDIC, sem ano), (MOLEX, sem ano), (CUIINC, sem ano), (PCBFABRICATION, sem ano), (E-SWITCH, sem ano), (LEDTRONICS, sem ano), (POWERSTREAM, sem ano)

¹ – Calculado multiplicando-se o volume pela densidade do silício (2,32g/cm³)

1. A primeira alternativa é um PCB circular, de diâmetro 20 milímetros (o mesmo que a pilha de relógio usada para alimentação). Todos os componentes seriam soldados em um lado da placa. A Figura 38 apresenta um modelo volumétrico do PCB com os componentes distribuídos em sua superfície. O leitor de cartão microSD (com cartão inserido), representado pelo bloco cinza claro, não cabe completamente sobre a superfície do PCB. Nessa alternativa, com o módulo posicionado no corpo, o LED (bloco azul) e o botão (bloco vermelho) ficariam ambos voltados para fora do corpo. Isso é importante para que o usuário consiga visualizar o estado do módulo facilmente (através das indicações luminosas do LED), mas pode incorrer em apertos do botão por acidente, durante o movimento. Além disso, considerando que o PCB ficasse posicionado sobre a bateria de relógio, o usuário precisaria removê-la e remover o PCB para ter acesso ao cartão microSD, ou, caso a abertura do módulo fosse pela face oposta, remover o PCB para ter acesso a bateria. Como os componentes eletrônicos, especialmente o MPU e o microcontrolador, são sensíveis, é preferível minimizar seu manuseio por parte do usuário.
2. A segunda alternativa gerada mantém um PCB de diâmetro 20mm, mas utiliza ambas faces deste (Figura 39). Na face superior, ficam o leitor de cartão microSD (bloco cinza claro), o botão e o buzzer piezoelétrico (bloco cinza escuro). Na face inferior, o LED, MPU e microcontrolador (bloco amarelo). Essa alternativa permite que todos componentes

Figura 38 – Primeira alternativa de disposição dos componentes internos no PCB



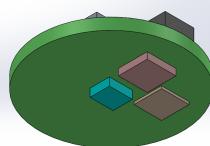
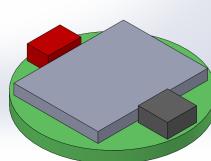
Desenvolvido pelo autor

caibam dentro da superfície de 20mm de diâmetro, porém impede que o botão ou o LED sejam utilizados, dependendo de qual lado ficar a bateria: caso a bateria ficasse sobre a face superior, obstruiria o aperto do botão, caso ficasse sob a face inferior, obstruiria a visão do LED.

Figura 39 – Segunda alternativa de disposição dos componentes internos no PCB

(a) Vista de cima

(b) Vista de baixo



Fonte: Desenvolvido pelo autor

3. A terceira alternativa contorna os problemas da alternativa anterior realocando todos os componentes, menos o leitor de cartões, para a face inferior do PCB (Figura 40). Assim, caso a bateria ficasse sobre o cartão microSD, o usuário poderia pressionar o botão e ver o LED sem dificuldades. Entretanto, a presença do botão na mesma face que o LED ainda apresenta o problema de possível pressionamento acidental. Essa alternativa é vantajosa em relação à primeira pois para retirar o cartão microSD, o usuário precisaria apenas remover a bateria, sem precisar manusear o PCB.
4. A quarta alternativa abre mão do PCB circular, e utiliza um PCB retangular planejado para ser disposto ao lado da bateria de relógio, e não acima ou abaixo dela, como as

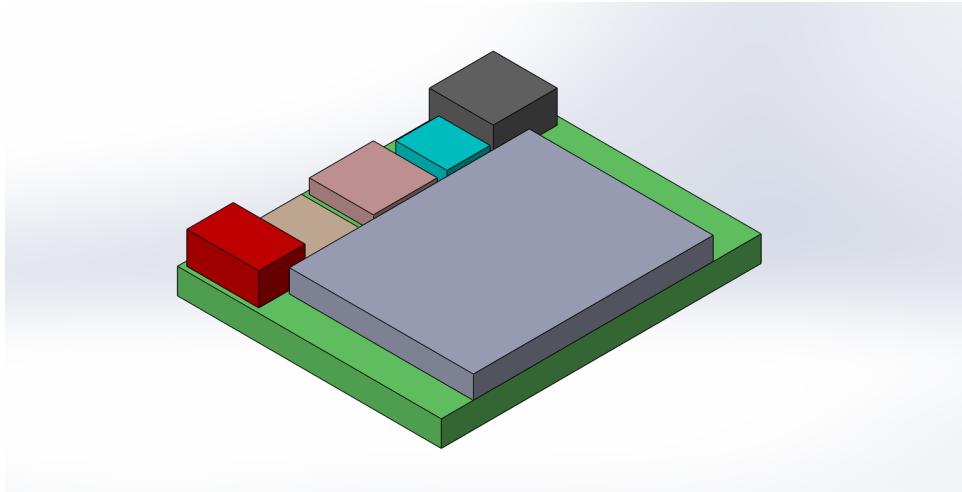
Figura 40 – Terceira alternativa de disposição dos componentes internos no PCB



Fonte: Desenvolvido pelo autor

alternativas anteriores (Figura 41). Essa disposição permite uma menor altura total do módulo, ao custo de uma área de superfície maior (contando a bateria posicionada ao seu lado). Embora uma altura menor do módulo ajude a reduzir o arrasto de forma gerado pelo produto, uma área de superfície maior dificulta o projeto de um invólucro anatomicamente apropriado para o uso em diversas partes do corpo: um módulo mais largo utilizado na lombar pode não ser problemático, mas esse mesmo módulo utilizado no pulso pode ter uma área desproporcionalmente grande.

Figura 41 – Quarta alternativa de disposição dos componentes internos no PCB



Desenvolvido pelo autor

5. A última alternativa gerada para o posicionamento dos componentes no PCB prevê uma placa semicircular de um lado e chanfrada do outro (Figura 42). Em uma das faces ficam o leitor de cartões, botão e buzzer, e na outra, LED, MPU e microcontrolador. Com a bateria posicionada sobre o leitor de cartões, o usuário ainda tem acesso livre ao botão, que não fica coberto por ela, e ao LED, na face oposta. Com o módulo vestido, a face com o LED ficaria para fora do corpo, permitindo visualizar rapidamente o estado do módulo, e o botão voltado para dentro, dificultando seu pressionamento acidental. Com abertura

pelo lado de dentro, o usuário têm acesso ao cartão microSD apenas retirando a bateria. O buzzer piezoelettrico foi colocado na mesma face que o botão principalmente devido à sua altura (2mm): caso o buzzer ficasse na face de baixo, a altura total do PCB aumentaria 0,9mm - pois o componente mais alto naquele lado (o LED) tem 1,1mm. O buzzer e botão foram rotacionados para diminuir a extensão longitudinal do PCB.

Figura 42 – Quinta alternativa de disposição dos componentes internos no PCB

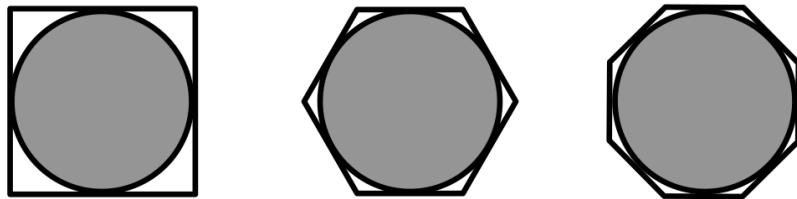


Fonte: Desenvolvido pelo autor

Entre as alternativas geradas, apenas a segunda e quinta prevêem o posicionamento do LED e botão em faces opostas. Entretanto, a alternativa 2 só funcionaria caso a bateria fosse posicionada ao lado do PCB, para que não obstrusse nenhum dos dois componentes. Isso resultaria em uma área de superfície maior do módulo. As alternativas 1, 3 e 4 posicionam LED e botão na mesma face do PCB, sendo que na alternativa 1 o acesso ao cartão microSD envolve manuseio dos demais componentes, que precisariam poder ser facilmente removíveis. Assim, considerou-se que a alternativa de PCB mais satisfatória é a de número 5, com a bateria sendo posicionada sobre o leitor de cartões microSD. Essa alternativa prevê uma altura total de 4,5mm para a placa e componentes, e comprimento e largura de 23mm por 20mm. Adicionando a bateria, a altura do conjunto sobe para 7,7mm e comprimento e largura se mantém. A escolha por uma arquitetura interna do módulo que privilegiasse uma área de superfície menor em detrimento da altura se deu devido à dificuldade de adequação de superfícies retas ao contato com o corpo humano: quanto mais extensa for a superfície reta, menos aproximada ela será dos contornos das diversas partes do corpo. Inversamente, quanto menos extensa for a área de superfície de uma seção reta, mais aproximada ela será da curvatura do corpo. Esse conceito é apresentado na Figura 43: quanto menor for o comprimento da aresta de um polígono, e mais arestas houverem, mais a forma do polígono se aproximará de um círculo perfeito.

Esse efeito é mais relevante quanto menor for o perímetro de uma determinada parte do corpo. Como os módulos serão usados em seções com perímetros muito variáveis (do tórax ao pulso), é preciso levar em conta um formato e área que seja adequado à essas diferentes posições (as dimensões das diferentes partes do corpo onde serão posicionados os módulos são apresentadas na próxima seção). Sendo a curvatura das partes do corpo, especialmente nos membros, mais acentuada no sentido transversal (perímetros) do que no sentido longitudinal,

Figura 43 – Comparaçāo da aproximação da curvatura de um círculo por diferentes polígonos



Fonte: Desenvolvido pelo autor

estipulou-se que a maior dimensão do módulo deva ser paralela ao sentido longitudinal destes. A forma do invólucro pode determinar se ele vai seguir a curvatura do corpo (formato “anatômico”) ou não. Tendo em vista a já relatada variedade de perímetros das seções do corpo, não seria possível projetar um invólucro que atendesse a todas as curvaturas anatômicas no mesmo grau (a forma de um módulo baseada na curvatura do pulso não o permitiria “encaixar” ergonomicamente em seções de perímetro maior, por exemplo); além disso, mesmo utilizando-se o maior dos perímetros como ponto de partida, o módulo não seria adequado à seções de curvatura negativa, como a área entre as omoplatas, nas costas (estipulando que o módulo não possa ser virado, para que o LED fique voltado sempre para fora e botão para dentro), ou relativamente retas, como a base da coluna.

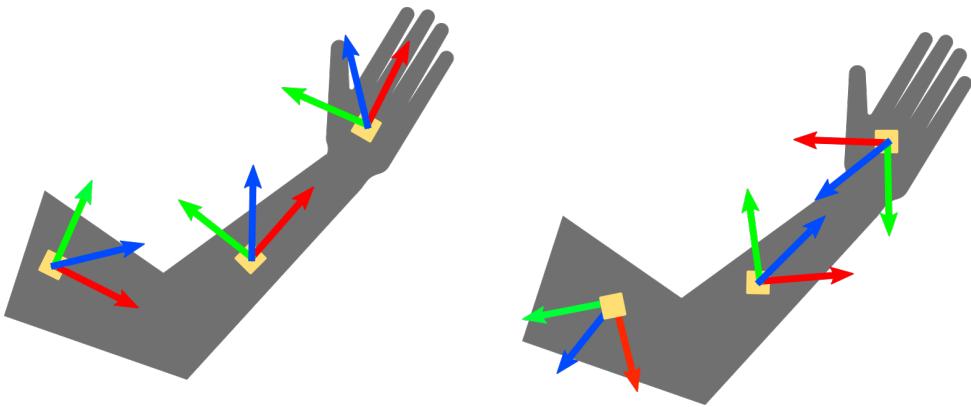
Portanto, o projeto da forma externa do invólucro buscou (i) a minimização das dimensões totais; (ii) a minimização do arrasto resistivo utilizando contornos hidrodinâmicos (privilegiando a entrada de seções menores na água primeiro, sem cantos agudos); (ii) possibilitar a fixação do módulo no suporte, e seu posicionamento no corpo de forma intuitiva; e (iv) permitir a abertura do módulo. Na parte interna, somam-se os requisitos de resistência à água, possibilidade de acesso à bateria e cartão microSD, visibilidade do LED e botão de difícil acesso.

5.3.8.2 Desenvolvimento da cinta

Para utilização do módulo, é necessário que ele possua algum mecanismo para sua fixação no corpo do atleta. Esse suporte deve permitir uma ligação sólida entre o segmento do corpo e o módulo, para que as acelerações e velocidades angulares captadas pelo último sejam fiéis às realizadas durante o movimento. Além disso, como pontuado na seção 5.3.5 os valores de orientação coletados pelos sensores são relativos aos seus eixos internos. Para que os dados capturados por eles possam ser utilizados para recriar o movimento tridimensionalmente, é necessário que a orientação destes eixos seja conhecida e preferencialmente idêntica à utilizada no referencial de calibragem. Para possibilitar isso, é possível buscar o alinhamento desses eixos

com os eixos dos segmentos do corpo. Para tanto, pode ser criado um padrão de posicionamento, onde os sensores só possam ser colocados de forma alinhada - um dos eixos alinhado com o sentido longitudinal do segmento, outro com o transversal, e outro voltado “para dentro” ou “para fora” do segmento, como visto na Figura 44.

Figura 44 – Módulos com os eixos dos sensores alinhados com o segmento do corpo em que se encontram (à esquerda) e alinhados arbitrariamente (à direita)



Fonte: Desenvolvido pelo autor

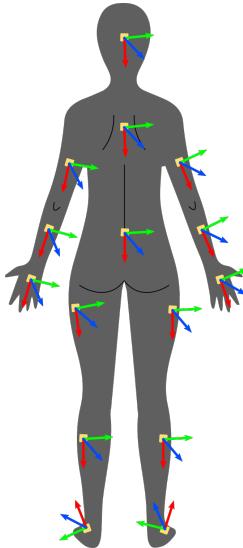
Para que o usuário intua esse padrão de posicionamento (e não precise recorrer a instruções ou à memória), é necessário que esse se reflita no formato do módulo. Essas restrições podem ser escritas da seguinte forma (considerando o atleta em pé, com os braços ao longo do corpo):

1. Quando posicionado, o módulo deve ter o eixo X dos sensores alinhado com o eixo longitudinal do segmento do corpo, e apontado para baixo;
2. Quando posicionado, o módulo deve ter o eixo Z dos sensores apontado para fora do corpo (ou seja, na mesma direção que a reta normal da superfície do corpo);

A direção do eixo Y dos módulos pode ser deduzida através dos outros dois eixos. Seu sentido varia caso seja posicionado no lado esquerdo ou direito (nas mãos, pulsos, braços, pés, pernas e coxa). A cinta não precisa ser posicionada em uma altura específica do segmento (ie o módulo do antebraço pode ficar na altura do pulso ou mais perto do cotovelo) pois as leituras de velocidade angular dos giroscópios não são afetadas. Uma representação gráfica dos eixos dos módulos em cada parte do corpo seguindo esse padrão de posicionamento é apresentada na Figura 45:

Essa orientação padronizada considera que o atleta naturalmente posicione os módulos nas partes externas dos membros - eg costas das mãos, tríceps, parte de fora da coxa - onde não tocam o corpo ou obstruem o movimento, e seus indicadores luminosos são mais facilmente visíveis. Tendo isso como verdadeiro, foram geradas alternativas para atender às duas restrições do posicionamento do módulo de forma intuitiva (Tabela 21).

Figura 45 – Vista posterior de um atleta com os 15 módulos posicionados em seu corpo, na orientação padronizada (seta vermelha indica o eixo X, verde o eixo Y e azul o eixo Z)



Fonte: Desenvolvido pelo autor

Tabela 21 – Alternativas para indicação da orientação correta de posicionamento do módulo

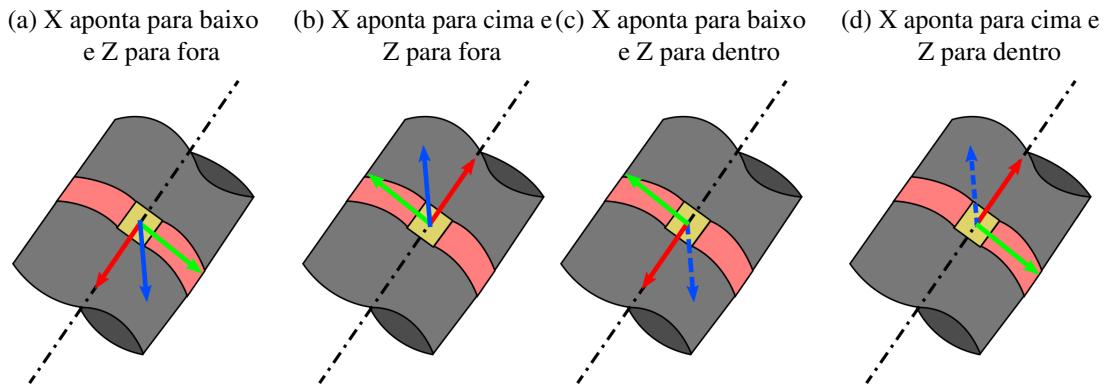
Eixo X do módulo deve estar alinhado com o eixo longitudinal do segmento do corpo, e apontando para baixo	O sistema de fixação do módulo na cinta pode ficar nas faces laterais paralelas ao eixo X O formato do módulo pode indicar uma orientação referente ao eixo X
Eixo Z do módulo deve estar apontando para fora do corpo	A face do módulo correspondente ao eixo Z positivo pode contar com elementos visuais que sugerem sua orientação voltada para fora do corpo (por exemplo, um logotipo), além do LED.

Fonte – Desenvolvido pelo autor

A primeira alternativa propõe o posicionamento do módulo no corpo de forma similar à um relógio ou cinto, com a cinta envolvendo o perímetro do segmento do corpo em uma direção perpendicular ao eixo longitudinal do mesmo, como pode ser visto na Figura 46. Esse sistema, entretanto, permite que o módulo seja posicionado em qualquer um dos dois sentidos positivo do eixo X voltado para cima, e qualquer dos sentidos do eixo Z apontando para fora do corpo, permitindo quatro possíveis posicionamentos.

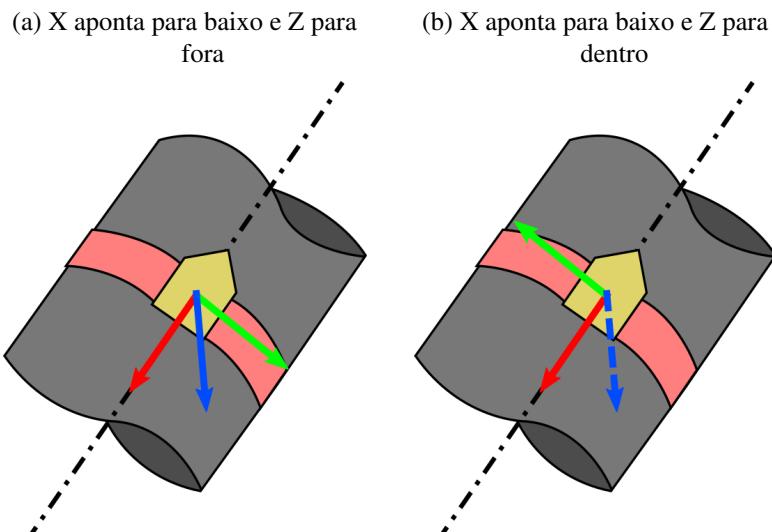
A segunda alternativa adiciona um elemento que permite não apenas o posicionamento do módulo com o eixo X direcionado corretamente, mas também no sentido apropriado. Isso foi obtido através de um formato assimétrico no invólucro do módulo, que sugira um lado “para cima” - no caso, o sentido contrário ao eixo X interno do sensor. Ainda assim, o módulo pode ser posicionado com o eixo Z apontando para fora ou para dentro do corpo (Figura 47).

Figura 46 – O módulo é posicionado no segmento do corpo utilizando uma cinta que o envolve em uma direção perpendicular ao eixo longitudinal (indicado pela linha tracejada), mas sem sentido definido para os eixos X ou Z (seta vermelha indica o eixo X, verde o eixo Y e azul o eixo Z)



Fonte: Desenvolvido pelo autor

Figura 47 – O módulo é posicionado com o eixo X alinhado ao eixo longitudinal do segmento do corpo (indicado pela linha tracejada), e sentido indicado pelo seu formato assimétrico, embora ainda possa ter o eixo Z apontando para fora ou para dentro do corpo (seta vermelha indica o eixo X, verde o eixo Y e azul o eixo Z)

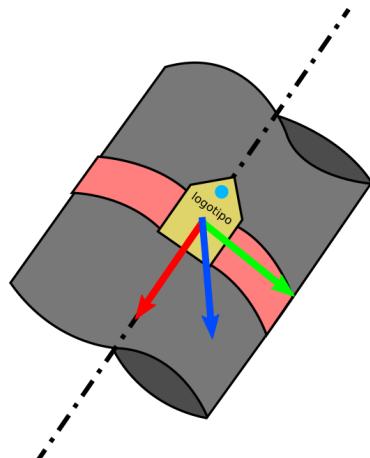


Fonte: Desenvolvido pelo autor

A terceira alternativa adiciona um logotipo (e LED) à forma anterior, na face exterior do módulo. Esses elementos indicam ao usuário que o módulo não apenas possui um lado “para cima”, como também uma face “para fora”. Assim, o módulo permitiria o posicionamento intuitiva de apenas uma forma (Figura 48). O logotipo, devido à sua natureza textual, também colabora para que o módulo seja percebido como possuindo uma orientação “para cima” correta - que o torna legível.

A forma do módulo foi elaborada seguindo as diretrizes propostas na alternativa 3. Como

Figura 48 – O módulo é posicionado com o eixo X alinhado ao eixo longitudinal do segmento do corpo (indicado pela linha tracejada), e sentido indicado pelo seu formato assimétrico, além de sentido do eixo Z indicado pelo LED e logotipo na face externa (seta vermelha indica o eixo X, verde o eixo Y e azul o eixo Z)



Fonte: Desenvolvido pelo autor

o formato do PCB desenvolvido é assimétrico no sentido longitudinal - sendo arredondado em uma das extremidades (ver Figura 42), o invólucro pode seguir este formato para indicar um sentido “para cima”.

A escolha do tipo de cinta adequado para o suporte do wearable levou em consideração: (i) adaptabilidade à diversidade de perímetros entre os segmentos do corpo e em um mesmo segmento, dependendo do usuário; (ii) baixo peso e volume; (iii) possibilidade de prover uma conexão estável com o segmento do corpo. Foram analisados tipos de cintas utilizados em bens de consumo como relógios, vestuário, mochilas, e mais específicos, como fitness trackers, sensores de monitoramento cardíaco. A análise permite a divisão dos tipos de cinta em dois arquétipos:

1. Cinta sólida: são cintas que não variam seu comprimento fisicamente. A adequação da cinta ao perímetro é feita através de gradações pré existentes. Não costuma se adequar a grandes variações de perímetro (ie relógios, cintos, fitness trackers)
2. Cinta ajustável: são cintas que variam o comprimento entre os dois pontos a que se ligam sem gradações discretas. Quando o comprimento diminui, o material restante da cinta pode se acomodar sob ela mesma (como a geralmente usada em alças de sutiã) ou ficar solto (como em alças ajustáveis de mochila).

Com o intuito de permitir que uma mesma cinta possa ser utilizada em mais de um segmento do corpo com perímetro diferente, o arquétipo de cinta ajustável foi favorecido. A Tabela 5.3.8.2 mostra os perímetros do corpo dos usuários com menores perímetros (adolescentes

Tabela 22 – Perímetros dos segmentos do corpo onde serão posicionados os módulos, para adolescentes de 14 anos e o percentil 95 de homens adultos

Segmento do corpo	Perímetro (cm), em adolescentes de 14 anos	Perímetro (cm), em homens adultos do percentil 95
Cabeça	56	60
Tórax	76	106
Quadril	83	105
Coxa	48	63
Panturrilha	33	<47 (perímetro do joelho)
Braço	26	40
P脉	16	18,5
Mão (circunferência entre indicador e mindinho)	N/A (estimada >pulso, <braco)	N/A (estimada >pulso, <braco)
Pé (circunferência entre o arco da sola e o peito do pé)	20	28

Fonte – Desenvolvido pelo autor, com informações de (GUIMARÃES, 2002), (IDEC, sem ano), (SOCKCLUB, sem ano)

de 14 anos) e maiores (percentil 95 de homens adultos¹¹). A utilização de dados de diversas fontes deveu-se à inexistência de uma única tabela com todas as informações necessárias.

Tabela: Perímetros dos segmentos do corpo onde serão posicionados os módulos, para adolescentes de 14 anos e o percentil 95 de homens adultos.

Essa tabela permite dividir os perímetros dos segmentos do corpo em grupos contínuos:

1. 16 a 47 cm: pulsos, pés, mãos, braços e panturrilhas de um adolescente de 14 anos até o percentil 95 de homens adultos.
2. 48 a 63 cm: coxa e cabeça de um adolescente de 14 anos até o percentil 95 de homens adultos.
3. 76 a 106 cm: quadril e tórax de um adolescente de 14 anos até o percentil 95 de homens adultos.

Assim, nota-se que nenhum destes segmentos do corpo têm dimensões no intervalo de 63 a 76cm. A utilização de uma cinta ajustável para se adaptar a estes diferentes perímetros deve levar em conta que o perímetro maior (tórax, 106cm) têm aproximadamente 6 vezes a dimensão do menor perímetro (pulso, 16cm). Assim, o uso de uma cinta de tamanho único que se adaptasse a este intervalo requereria que, no pior dos casos, o usuário utilizasse uma cinta 6 vezes maior e mais pesada do que necessário. Dessa forma, optou-se por dividir os perímetros em intervalos, a serem atendidos por diferentes tamanhos de cinta. Para que se possa utilizar uma cinta ajustável

¹¹ Dimensões do percentil 95 são maiores do que 95% da população pesquisada

sem sobra, ou seja, que pode ser reduzida ou aumentada sem pontas soltas (como em uma alça de sutiã), a variação de perímetro não pode ser maior do que 100% (em outras palavras, a cinta consegue diminuir até metade do seu comprimento, dobrando-se sobre si mesma). Esse tipo de cinta foi considerado ideal para aplicação por não requerer que o usuário prenda sobras da cinta ao produto, através de outro mecanismo.

Assim, o menor tamanho de cinta deve poder ser diminuído até um comprimento de 16cm menos a distância entre as presilhas do módulo. Aproximando esta distância para 3cm, temos que a primeira cinta irá variar de 13 a 26cm. Como o intervalo após 26cm é contínuo, é necessário que a segunda cinta possibilite um tamanho mínimo de 26cm, e máximo de 52cm. Uma terceira cinta poderia então variar de 52 a 104cm, suficiente para abranger o perímetro máximo do tórax - 3cm. A escolha por este sistema de diferentes tamanhos de cinta permite que o usuário utilize apenas uma cinta para posicionar o módulo em qualquer parte de seu corpo, sem recorrer à extensões. No caso da compra de múltiplos módulos, podem ser disponibilizados pacotes com 15 cintas e 15 módulos. **Assim, devido à sua simplicidade mecânica, acessibilidade e usabilidade, definiu-se que o suporte do módulo ao corpo se dará usando uma cinta de tecido levemente elástico com presilha triglide (Figura 49).** Três tamanhos diferentes de cintas serão providenciados, atendendo à todos os perímetros dos segmentos do corpo do público alvo. A conexão da cinta com o módulo se dará inserindo as presilhas do módulo nos loops nas extremidades da cinta (Fig 50).

Figura 49 – Presilha triglide, que permite o ajuste de comprimento de cintas sem pontas soltas



Fonte: O autor

5.3.9 Subsistema de processamento

Depois dos dados coletados pelos sensores serem gravados e enviados ao dispositivo receptor, este se encarrega de processá-los para possibilitar a geração da visualização do movimento em 3D (segundo o princípio exposto na seção 5.1) e das demais informações apresentadas pelo software (vistas em maior profundidade na próxima seção). O processamento dos dados envolve a filtragem e transformação do sinal dos sensores, através de algoritmos como os expostos na seção 2.6.2.2. **O desenvolvimento do código por trás da aplicação destes métodos**

Figura 50 – Capacidade de extensão da cinta

(a) Cinta extendida



(b) Cinta comprimida



Fonte: O autor

foi considerado fora do escopo dese trabalho, embora sua viabilidade técnica tenha sido averiguada na fundamentação teórica, nas seções supracitadas. Mesmo assim, a decisão de delegar o processamento é relevante para o projeto, em especial por diminuir os requisitos de capacidade de processamento dos módulos em si.

5.3.10 Subsistema de apresentação/interação digital

O subsistema de apresentação e interação digital versa sobre como os dados coletados pelos módulos serão apresentados para o usuário, e como este pode controlar os módulos através do dispositivo receptor (smartphone ou computador). Assim, esse subsistema pode ser dividido em apresentação e interação digital.

5.3.10.1 Apresentação

Como visto na seção anterior, os dados de aceleração e velocidade angular tri-axiais coletados pelos sensores são processados para permitir a visualização tridimensional do movimento. Adicionalmente, os dados brutos podem ser visualizados para se realizar a análise biomecânica do movimento. Estas duas formas de apresentação dos dados são utilizadas pelo APAS e MVN, analisados na seção 4.2. Fitness trackers, embora não apresentem os dados de forma a permitir a análise biomecânica, costumam disponibilizar informações baseadas nos padrões de movimento do usuário, como número de braçadas, número de voltas, tipo de nado, velocidade e distância por braçadas (ver seção 4.2.2.1). Essas informações podem ser adicionadas aos dois tipos de apresentação anteriores.

Assim, de forma a cumprir os requisitos dos usuários levantados no capítulo anterior, definiu-se que o sistema deverá possibilitar a visualização dos dados coletados de três formas: **(i) visualização tridimensional do movimento do atleta; (ii) gráficos com os dados brutos de aceleração e velocidade angular de cada módulo em função do tempo; e (iii) sumário**

do movimento capturado, baseado no reconhecimento de padrões de movimento (*feature recognition*). Esse sumário do movimento será composto por: (i) distância percorrida, em metros e em voltas dadas na piscina; (ii) duração do movimento, no formato de horas, minutos e segundos; (iii) velocidade média (em metros por segundo); (iv) ritmo de cada volta (em minutos para percorrer 100 metros); (v) tipo de nado, podendo haver mais de um por gravação; (v) número de braçadas, total e por volta. As voltas e braçadas serão detectadas automaticamente durante o processamento, através dos perfis de aceleração, como visto na seção 2.6.2.2.

5.3.10.2 Interação digital

No subsistema de interface do wearable, definiu-se que o software no dispositivo receptor seria primariamente responsável por iniciar e terminar gravações nos módulos, e dar a opção ao usuário que insira as dimensões de seu corpo e comprimento da piscina. Além disso, ele deve possibilitar ao usuário customizar o nome de seu módulo e permitir ao usuário checar o estado da bateria e armazenamento e ordenar que o módulo emita sinais luminosos e sonoros, para identificá-lo entre outros ou encontrá-lo caso tenha sido perdido. Essas operações podem ser desdobradas em suboperações, levando em conta o desenvolvimento técnico apresentado até agora (Tabela 23). Algumas destas operações podem ser realizadas tanto através do software ou não.

A interação do software com os módulos deve permitir que o usuário cumpra todas as sub-operações necessárias. Para tanto, foram geradas alternativas de como cada uma delas pode ser realizada, através da interface do software (Tabela 24)

Analisando as alternativas geradas, podemos notar que grande parte das sub-operações requer que o usuário possa escolher o módulo em uma lista de módulos ao alcance do dispositivo receptor. Além disso, podem ser delineados dois caminhos gerais de como tratar a interação do usuário para realizar as operações de começar e terminar gravações: (i) cada uma das suboperações (atribuir módulos à partes do corpo, calibrar, sincronizar, iniciar gravação, terminar gravação e centralizar dados) pode ser uma etapa discreta no uso do software, requerendo um comando do usuário, ou (ii) suboperações podem ser agrupadas sob um mesmo comando, requerendo apenas uma ação do usuário para serem realizadas. Segundo Garrett (2010), apresentar um número menor de comandos para realizar uma tarefa não significa necessariamente uma melhor experiência do usuário com o software, caso esses comandos não permitam ao usuário compreender o efeito de suas ações sobre o estado do sistema. Mesmo assim, tarefas que não precisem ser necessariamente controladas pelo usuário, como sincronizar e centralizar dados, podem ser realizadas pelo software conjuntamente com outras ações, como começar e terminar gravação, respectivamente. As suboperações de atribuição dos módulos à segmentos do corpo e calibragem dos módulos precisam que o usuário performe ações (identifique e atribua os módulos e fique parado na pose de calibragem, respectivamente), mas são ambas requisitos para que a gravação possa começar.

Tabela 23 – Ações do usuário desdobradas em suboperações realizadas pelo módulo

Ação	Sub-operações	Necessidade de conexão bluetooth do módulo com o dispositivo receptor
Iniciar gravação	Atribuir uma parte do corpo para cada módulo, e guardar a informação de onde cada módulo está	Conectado
	Sincronizar os módulos para que começem as gravações ao mesmo tempo	Conectado
	Calibrar o sistema, para que a gravação parta de uma posição referencial conhecida	Preferencialmente conectado (pode ser realizado offline mas pode comprometer a integridade da gravação)
Terminar gravação	Ordenar que os módulos gravem o movimento	Preferencialmente conectado (pode ser realizado offline mas pode comprometer a integridade da gravação)
	Ordenar que os módulos parem de gravar o movimento	Não necessariamente (término de bateria, pressionamento do botão)
Inserir dimensões do corpo e piscina	Centralizar os dados no dispositivo receptor	Não necessariamente (transferência por cartão microSD)
	-	Não necessariamente (pode ser realizado apenas no software)
Customizar nome do módulo	Inserir PIN	Conectado
	Definir nome customizado	Conectado
Checar estado da bateria e armazenamento	-	Conectado / não conectado (via botão, para a bateria)
Ordenar que o módulo emita sinal luminoso e sonoro	-	Conectado

Fonte – Desenvolvido pelo autor

Tabela 24 – Alternativas de solução de interface para cada suboperação

Suboperação	Alternativas de interface
Atribuir uma parte do corpo para cada módulo, e guardar a informação de onde cada módulo está	<p>Usuário pode selecionar os módulos dentro do alcance do Bluetooth em uma lista e atribuir uma parte do corpo para cada um (ao ser selecionado o módulo pode emitir sinais luminosos e sonoros)</p> <p>O software pode apresentar uma representação do corpo humano e o usuário pode clicar em cada parte e escolher um módulo de uma lista (ao ser selecionado o módulo pode emitir sinais luminosos e sonoros)</p>
Sincronizar os módulos para que começem as gravações ao mesmo tempo	<p>O software pode oferecer um comando de “sincronizar”</p> <p>A sincronização pode ocorrer sem requisitar um comando específico do usuário, quando ele realizar o comando de “gravar” no software</p>
Calibrar o sistema, para que a gravação parte de uma posição referencial conhecida	<p>O software pode oferecer um comando de “calibrar”</p> <p>Ao realizar o comando de “gravar”, uma caixa de diálogo informa o usuário de que ele deve ficar parado em uma determinada posição (em pé com os braços ao longo do corpo) durante a calibragem, antes da gravação</p>
Ordenar que os módulos gravem o movimento	O software pode oferecer um comando de “gravar” ao usuário
Ordenar que os módulos parem de gravar o movimento	O software pode oferecer um comando de “parar de gravar” ao usuário
Centralizar os dados no dispositivo receptor	<p>O software pode possuir um comando de “centralizar dados”</p> <p>Quando o software enviar o comando de parar de gravar, os módulos que estiverem ao alcance podem começar a transferir os dados automaticamente</p>
Inserir dimensões do corpo e piscina	O software pode permitir que o usuário crie um “perfil” com suas dimensões, e o atribua às gravações
Inserir PIN	O software pode possuir um comando de “customizar módulo”, que ao ser clicado, solicita que o usuário insira o PIN do módulo selecionado (que pode ser identificado piscando e com um aviso sonoro).
Definir nome customizado	O software pode permitir ao usuário escrever um novo nome para o módulo
Checar estado da bateria e armazenamento	O software pode permitir que o usuário veja detalhes sobre os módulos ao alcance
Ordenar que o módulo emita sinal luminoso e sonoro	O software pode possuir um comando de “emitir sinal luminoso e sonoro” para o módulo selecionado

Fonte – Desenvolvido pelo autor

Assim, é possível aninhar ambas etapas dentro do comando de começar gravação, que então (i) solicitaria que o usuário identificasse e atribuísse os módulos e (ii) ficasse parado na pose de calibragem. Alternativamente, o usuário pode identificar e atribuir os módulos antes de iniciar a gravação, em um comando separado, além de “pingar” e customizar o nome dos mesmos. Um fluxograma da interação do usuário com o software no dispositivo receptor é exibido na Figura 51.

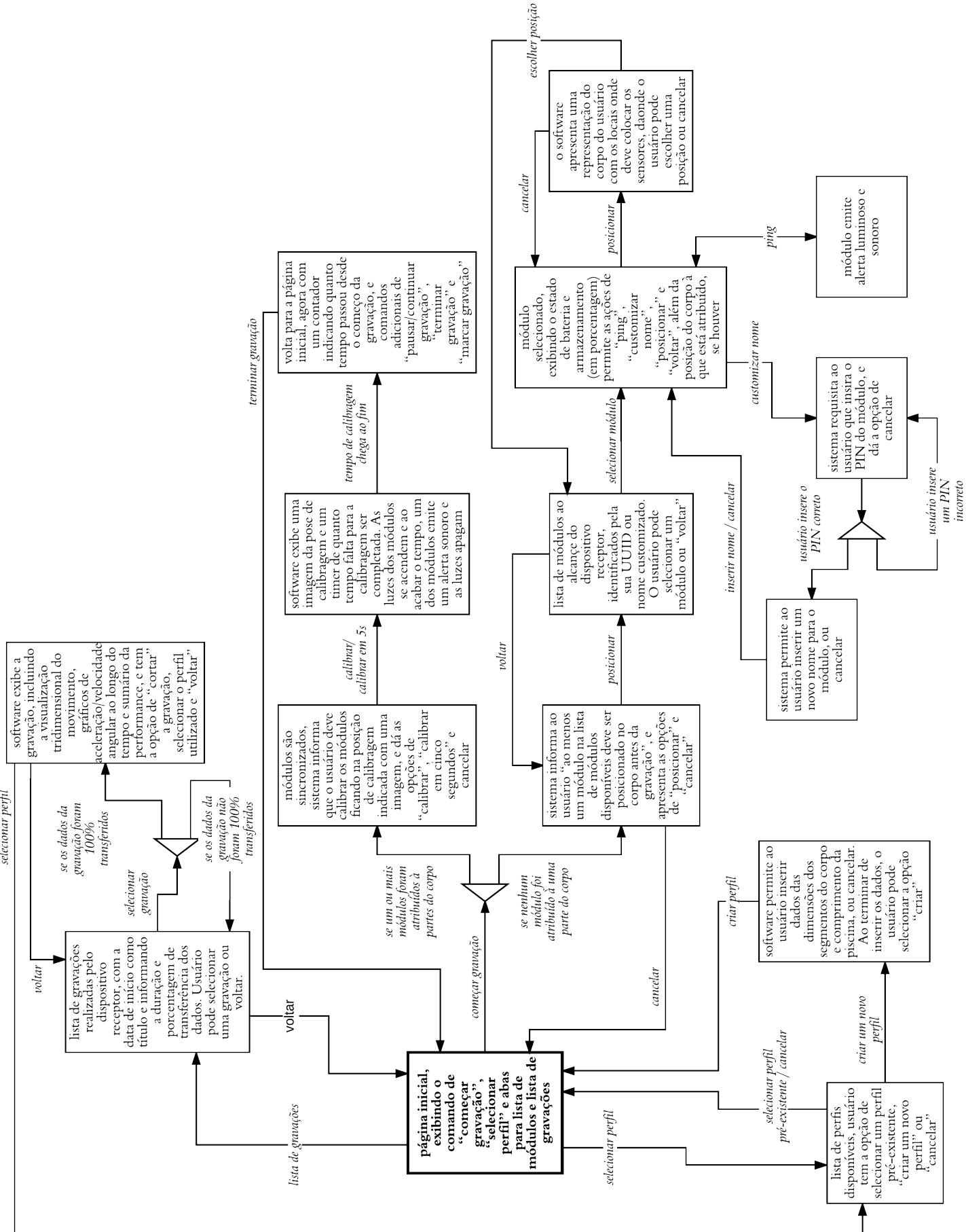


Figura 51 – Fluxograma de uso do software para interação com os módulos

6 APRESENTAÇÃO DO PRODUTO

O produto desenvolvido é um módulo contendo sensores inerciais, dotado de um LED na face externa, botão com recesso na face interna, buzzer piezoelétrico e cartão microSD (Figura 52). O módulo pode ser posicionado em qualquer parte do corpo usando uma de três cintas ajustáveis, que o acompanham. O formato do módulo visa impedir que ele seja posicionado erroneamente pelo usuário (a face externa tem o logotipo e o LED, e o lado voltado para cima é indicado pela escrita e pelo formato), e é hidrodinâmico. O botão tem um recesso em relação à face interna, dificultando seu pressionamento acidental. Uma fenda para a unha pode ser utilizada para pressioná-lo.

Figura 52 – Vista frontal do produto desenvolvido



Fonte: Desenvolvido pelo autor

O peso total do módulo é de aproximadamente 10 gramas, sem contar a cinta. O módulo é mantido fechado por 4 parafusos M1.4 de 3 milímetros de comprimento, e é tornado resistente à água com a aplicação de um o’ring na face entre as metades da carcaça e no eixo da coluna do botão. O módulo pode ser aberto pelo usuário pra troca de bateria e retirada do cartão microSD. O PCB é preso à carcaça por dois snap fits, dificultando que o usuário manuseie ou perca os componentes sensíveis. Os snap fits são assimétricos, impedindo a colocação do PCB com a face errada voltada para dentro. A carcaça do módulo é injetada em ABS, requerendo ação lateral no molde para os snap fits e as presilhas.

O Apêndice A contém vistas adicionais do produto. O Apêndice B contém os desenhos técnicos dos seguintes componentes do módulo: carcaça exterior, carcaça interior, coluna do botão e PCB, além de uma vista explodida.

Adicionalmente, vistas tridimensionais interativas do produto podem ser acessadas nos

seguintes links:

Vista 1: <<https://skfb.ly/WGo8>>

Vista 2: <<https://skfb.ly/WGzH>>

Vista 3: <<https://skfb.ly/WGzL>>

7 CONCLUSÃO

O presente trabalho versou sobre o projeto de um wearable para monitoramento de performance na natação. O wearable projetado é capaz de gerar uma visualização tridimensional do movimento, além de possibilitar sua análise biomecânica, e apresentar esses dados em um software instalado em um smartphone ou computador. A tecnologia empregada (sensores inerciais) é adequada para a aplicação, e suficientemente miniaturizada. O projeto ainda carece de validação com protótipos físicos e funcionais e testes com usuários.

REFERÊNCIAS

- ADAFRUIT. *Adafruit 9-DOF Accel/Mag/Gyro+Temp Breakout Board - LSM9DS0 ID: 2021*: Adafruit Industries, Unique & fun DIY electronics and kits. sem ano. <<https://www.adafruit.com/product/2021>>. Acesso em 15 jun. 2016.
- ADAMJTUK. *kinovea_example.mp4 - YouTube*. 2011. <<https://www.youtube.com/watch?v=2BO2nLHqWik>>. Acesso em: 15 jun. 2016.
- ARIEL, G. *History of Biomechanics 2*. 2009. <<https://www.youtube.com/watch?v=NuKCx6uF0No>>. Accesso 28 out. 2016.
- ARIEL, G. *History of biomechanics 4 - The Birth of the USOC in Colorado Spring*. 2009. <<https://www.youtube.com/watch?v=SRU7j-xiUSI>>. Accesso 28 out. 2016.
- ARIEL, G. *Biomechanial Analysis with the APAS System - YouTube*. 2012. <<https://www.youtube.com/watch?v=8bC1g1dSz0>>. Acesso em 31 out. 2016.
- AU, L. et al. Design of wireless health platforms. In: *Wearable Monitoring Systems*. [S.l.]: Springer, 2011. p. 81–97.
- AXWORTHY, J. *The origins of the fitness tracker*. 2016. <<http://www.wearable.com/fitness-trackers/the-origins-of-the-fitness-tracker-1234>>. Acesso em 31 out. 2016.
- BÄCHLIN, M.; TRÖSTER, G. Swimming performance and technique evaluation with wearable acceleration sensors. *Pervasive and Mobile Computing*, Elsevier, v. 8, n. 1, p. 68–81, 2012.
- CALLAWAY, A. J. Measuring kinematic variables in front crawl swimming using accelerometers: A validation study. *Sensors*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 15, n. 5, p. 11363–11386, 2015.
- CALLAWAY, A. J.; COBB, J. E.; JONES, I. A comparison of video and accelerometer based approaches applied to performance monitoring in swimming. *International Journal of Sports Science & Coaching*, SAGE Publications, v. 4, n. 1, p. 139–153, 2009.
- CONCEPTS, G. C. D. *GCDC Miniature Usb-Accelerometer 3-axis Rechargeable Data Recorder*. sem ano. <<http://www.gcdadataconcepts.com/x6-2mini.html>>. Acesso em 15 jun. 2016.
- COUNCIL, D. Eleven lessons: managing design in eleven global brands. *London, UK: The Design Council*. Disponível em: <<http://www.designcouncil.org.uk/resources/report/11-lessons-managing-design-global-brands>>. Acesso em: 15 jun. 2016.
- COUNCIL, D. Eleven lessons: managing design in eleven global companies desk research report. 2007.
- CUIINC. *CMT-4023S-SMT | Magnetic | Audio Transducers | Buzzers | CUI Inc*. sem ano. <<http://www.cui.com/product/components/buzzers/audio-transducers/magnetic/cmt-4023s-smt>>. Acesso em 8 nov. 2016.

DADASHI, F. et al. Front-crawl instantaneous velocity estimation using a wearable inertial measurement unit. *Sensors*, Molecular Diversity Preservation International, v. 12, n. 10, p. 12927–12939, 2012.

DAVEY, N.; JAMES, D. A. Swimming stroke analysis using multiple accelerometer devices and tethered systems. <http://www.taylorandfrancis.com/books/details/9780415456951/>, 2008.

E-SWTICH. *TL1015 Series Micro-Miniature Tact Switch | E-Switch.com*. sem ano. <<https://www.e-switch.com/product-catalog/tact/product-lines/tl1015-series-micro-miniature-tact-switch#.WCIcePorKUl>>. Acesso em 8 nov. 2016.

FERREIRA, R. L. Políticas para o esporte de alto rendimento estudo: comparativo de alguns sistemas esportivos nacionais visando um contributo para o brasil. In: . [S.l.: s.n.].

FLASH Memory Survives 100 Million Cycles - IEEE Spectrum. 2012. <<http://spectrum.ieee.org/semiconductors/memory/flash-memory-survives-100-million-cycles>>. Acesso em 8 nov. 2016.

GAITUP. *Brochure_Datasheet_PhysilogRTK.pdf*. sem ano. <http://www.gaitup.com/wp-content/uploads/Brochure_Datasheet_PhysilogRTK.pdf>. Acesso em 15 jun. 2016.

GAITUP. *Gait Up | Born in research, Made in Switzerland, Used in clinics*. sem ano. Disponível em: <<http://www.gaitup.com/>>.

GARMIN. *HRM-Swim | Garmin*. sem ano. <<https://buy.garmin.com/en-US/US/shop-by-accessories/fitness-sensors/hrm-swim-/prod512311.html>>. Acesso em 8 nov. 2016.

GARRETT, J. J. *Elements of user experience, the: user-centered design for the web and beyond*. [S.l.]: Pearson Education, 2010.

GILBERT, H. B.; CELIK, O.; MALLEY, M. K. Long-term double integration of acceleration for position sensing and frequency domain system identification. In: IEEE. *Advanced Intelligent Mechatronics (AIM), 2010 IEEE/ASME International Conference on*. [S.l.], 2010. p. 453–458.

GUIMARÃES, L. B. d. M. Antropometria. In: *Ergonomia de Produto - Volume I*. [S.l.]: FEENG, 2002.

IDECK. *Tabela de exemplos de medidas do corpo infantil*. sem ano. <<http://www.idec.org.br/pdf/tabela%20ABNT.pdf>>. Acesso em 8 nov. 2016.

INVENSENSE. *MPU-6050 | InvenSense*. sem ano. <<https://www.invensense.com/products/motion-tracking/6-axis/mpu-6050/>>. Acesso em 15 jun. 2016.

INVENSENSE. *MPU-9250 | InvenSense*. sem ano. <<https://www.invensense.com/products/motion-tracking/9-axis/mpu-9250/>>. Acesso em 15 jun. 2016.

JARY, S. *Best swimming tracker: waterproof activity trackers reviewed - Test Centre - PC Advisor*. 2016. <<http://www.pcadvisor.co.uk/test-centre/wearable-tech/best-waterproof-swimming-trackers-3644724/>>. Acesso em 31 out. 2016.

KRUG, D. F.; MAGRI, P. E. F. *Natação: aprendendo para ensinar*. [S.l.: s.n.], 2012.

LEDTRONICS. *Ultra Miniature Hi Power Surface Mount Discretes RGB LEDs*. sem ano. <<http://www.ledtronics.com/Products/ProductsDetails.aspx?WP=446>>. Acesso em 8 nov. 2016.

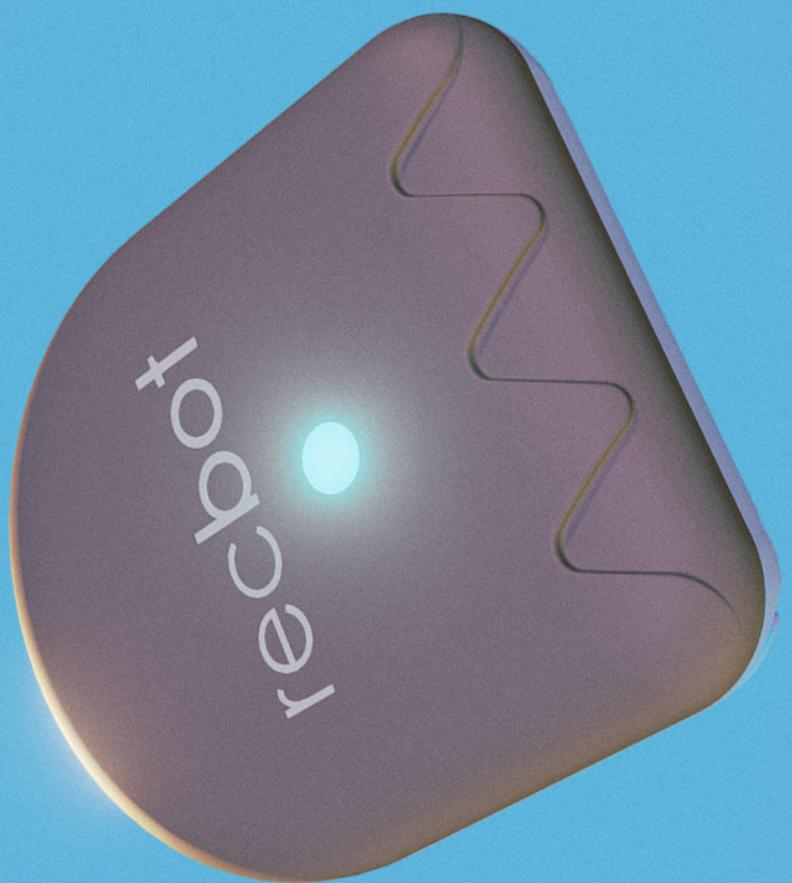
- LEE, J.-S.; SU, Y.-W.; SHEN, C.-C. A comparative study of wireless protocols: Bluetooth, uwb, zigbee, and wi-fi. In: IEEE. *Industrial Electronics Society, 2007. IECON 2007. 33rd Annual Conference of the IEEE*. [S.l.], 2007. p. 46–51.
- LIPOL. *Lithium Polymer Battery 3.7V 30-10000mAh - polymer lithium battery,lithium ion polymer battery,polymer lithium ion battery,li poly battery*. sem ano. <<http://www.lipolbattery.com/lithium%20polymer%20battery.html>>. Acesso em 8 nov. 2016.
- MACHADO, D. C. *Natação: iniciação ao treinamento*. [S.l.]: EPU, 2006.
- MAGALHAES, F. A. d. et al. Wearable inertial sensors in swimming motion analysis: a systematic review. *Journal of sports sciences*, Taylor & Francis, v. 33, n. 7, p. 732–745, 2015.
- MAGLISCHO, E. W. *Nadando o mais rápido possível*. [S.l.]: Manole, 2010.
- MASON, B.; ALCOCK, A.; FOWLIE, J. A kinetic analysis and recommendations for elite swimmers performing the sprint start. In: *ISBS-Conference Proceedings Archive*. [S.l.: s.n.], 2007. v. 1, n. 1.
- MICHAEL, S. *Smart clothing: The biggest benefits*. 2016. <<http://www.wearable.com/smart-clothing/smart-clothing-what-are-the-benefits-2016>>. Acesso em 31 out. 2016.
- MOLEX. *Molex Connector Part Number - 104031-0811*. sem ano. <http://www.molex.com/molex/products/datasheet.jsp?part=active/1040310811_MEMORY_CARD_SOCKET.xml>. Acesso em 8 nov. 2016.
- MOONEY, R. et al. Inertial sensor technology for elite swimming performance analysis: A systematic review. *Sensors*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 16, n. 1, p. 18, 2015.
- MOSSTON, M.; ASHWORTH, S. et al. Teaching physical education. B. Cummings San Francisco, CA, 2002.
- NIELD, D. *How it works: We explain how your fitness tracker measures your daily steps*. 2016. <<http://www.wearable.com/fitness-trackers/how-your-fitness-tracker-works-1449>>. Acesso em 31 out. 2016.
- NILSSON, R.; SALTZSTEIN, B. *connectBlue - Bluetooth low energy technology isn't just another Bluetooth revision – it's a whole new technology*. <<http://www.connectblue.com/press/articles/bluetooth-low-energy-technology-isnt-just-another-bluetooth-revision-its-a-whole-new-technology/>>. Acesso em 8 nov. 2016.
- NORDIC. *nRF51822 / Bluetooth low energy / Products / Home - Ultra Low Power Wireless Solutions from NORDIC SEMICONDUCTOR*. sem ano. <<https://www.nordicsemi.com/eng/Products/Bluetooth-low-energy/nRF51822>>. Acesso em 8 nov. 2016.
- PCBFABRICATION. *Standard PCB Thickness - PCBfabrication.com*. sem ano. <http://www.pcbfabrication.com/PCB-fabrication/pcb_thickness.asp>. Acesso em 8 nov. 2016.
- PHYSICS of a Baseball Pitch - Baseball Pitch Speed Record. 2010. <<http://www.popularmechanics.com/adventure/sports/a6063/how-the-105-mph-fastball-tests-the-limits-of-the-human-body/>>. Acesso em 8 nov. 2016.

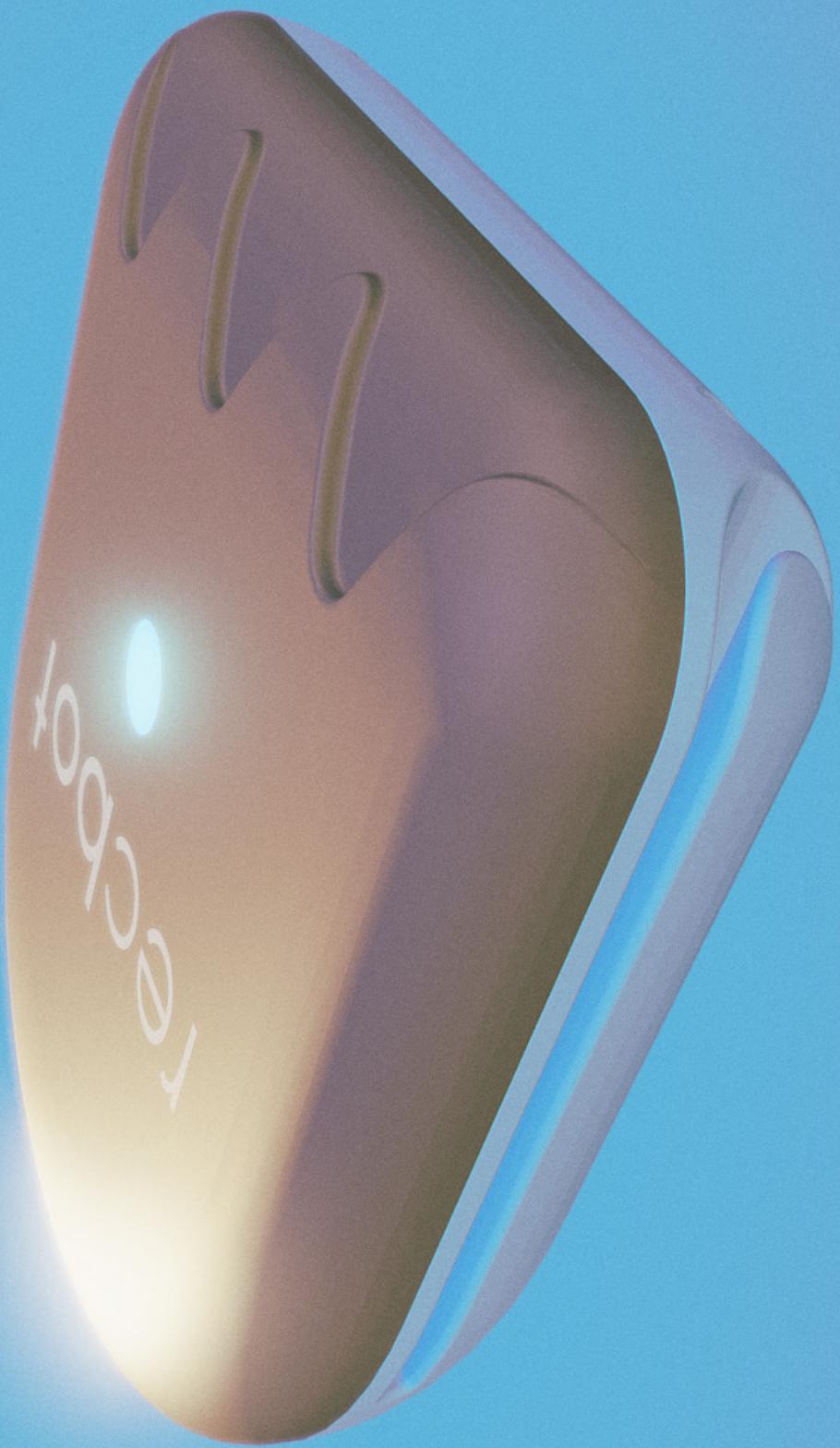
- POWERSTREAM. *Bulk quantity Lithium Ion Button Cells for sale*. sem ano. <<http://www.powerstream.com/licoin.htm>>. Acesso em 8 nov. 2016.
- PYNE, D. B.; GOLDSMITH, W. M. Treinamento e testes de nadadores de competição. In: *Natação: Manual de medicina e ciência do esporte*. [S.I.]: Manole, 2008. p. 150–177.
- RAINMAKER, D. *Analyzing your swim technique in the pool with the GoPro HD | DC Rainmaker*. 2011. <<https://www.dcrainmaker.com/2011/03/analyzing-your-swim-technique-in-pool.html>>. Acesso em 31 out. 2016.
- ROWBERG, J. *MPU-6050 6-axis accelerometer/gyroscope | I2C Device Library*. sem ano. <<http://www.i2cdevlib.com/devices/mpu6050#source>>. Acesso em: 15 jun. 2016.
- SACHS, D. Sensor fusion on android devices: A revolution in motion processing. *Video]* <https://www.youtube.com/watch>, v. 7, p. 2, 2010.
- SAGE, T. L. et al. Kalman filter design for application to an ins analysing swimmer performance. In: *18th European Signal Processing Conference, Aalborg*. [S.I.: s.n.], 2010. p. 1723–1727.
- SAGE, T. L. et al. A component based integrated system for signal processing of swimming performance. In: IEEE. *Signal Processing and Multimedia Applications (SIGMAP), Proceedings of the 2010 International Conference on*. [S.I.], 2010. p. 73–79.
- SANTANA, M. V.; BEDOYA, J. L.; BAUTISTA, F. P. *El acrosport en la escuela*. [S.I.]: Inde, 1996.
- SCILINGO, E. P.; LANATA, A.; TOGNETTI, A. Sensors for wearable systems. In: *Wearable Monitoring Systems*. [S.I.]: Springer, 2011. p. 3–25.
- SOCKCLUB. *Foot Size Survey*. sem ano. <https://sockclub.bluemoonfiberarts.com/sites/default/files/Size%20Matters_updaterequest&findings_20121203.pdf>. Acesso em 8 nov. 2016.
- SPARKFUN. *How to Power a Project*. sem ano. <<https://learn.sparkfun.com/tutorials/how-to-power-a-project>>. Acesso em 8 nov. 2016.
- SPARKFUN. *LED - RGB Diffused Common Cathode - COM-09264 - SparkFun Electronics*. sem ano. <<https://www.sparkfun.com/products/9264>>. Acesso em 8 nov. 2016.
- STAMM, A. et al. Determining maximum push-off velocity in swimming using accelerometers. *Procedia Engineering*, Elsevier, v. 60, p. 201–207, 2013.
- STAMM, A.; JAMES, D. A.; THIEL, D. V. Velocity profiling using inertial sensors for freestyle swimming. *Sports Engineering*, Springer, v. 16, n. 1, p. 1–11, 2013.
- STAMM, A.; THIEL, D. V. Investigating forward velocity and symmetry in freestyle swimming using inertial sensors. *Procedia Engineering*, Elsevier, v. 112, p. 522–527, 2015.
- STAMM, A. et al. Towards determining absolute velocity of freestyle swimming using 3-axis accelerometers. *Procedia Engineering*, Elsevier, v. 13, p. 120–125, 2011.
- STAMMERS, R.; PATRICK, J. *Psicologia do treinamento*. [S.I.]: Zahar, 1978.
- SUNG, D. *Big test: The best trackers for swimming ranked and rated*. 2016. <<http://www.wearable.com/fitness-trackers/big-swimming-tracker-review>>. Acesso em 31 out. 2016.

- SWIMSMOOTH. *Swimming Technique: Animations & Articles From Experts Swim Smooth.* sem ano. <<http://www.swimsmooth.com/>>. Acesso em 31 out. 2016.
- TOTEM. *Totem Open Health - Limitless possibilities for wearable health technology.* sem ano. Disponível em: <<http://openhealth.wemaketotem.org/>>.
- VANDERBECK, E. La identificazione degli errori nel crawl. In: . [S.l.: s.n.].
- WARREN, S.; NATARAJAN, B. Wireless communication technologies for wearable systems. In: *Wearable Monitoring Systems.* [S.l.]: Springer, 2011. p. 51–80.
- WOODMAN, O. J. An introduction to inertial navigation. 2007.
- XSENS. *Home - Xsens 3D motion tracking.* sem ano. <<https://www.xsens.com/>>. Acesso em 31 out. 2016.
- YUJI, O. Mems sensor application for the motion analysis in sports science. *Memory*, v. 32, 2005.

Apêndices

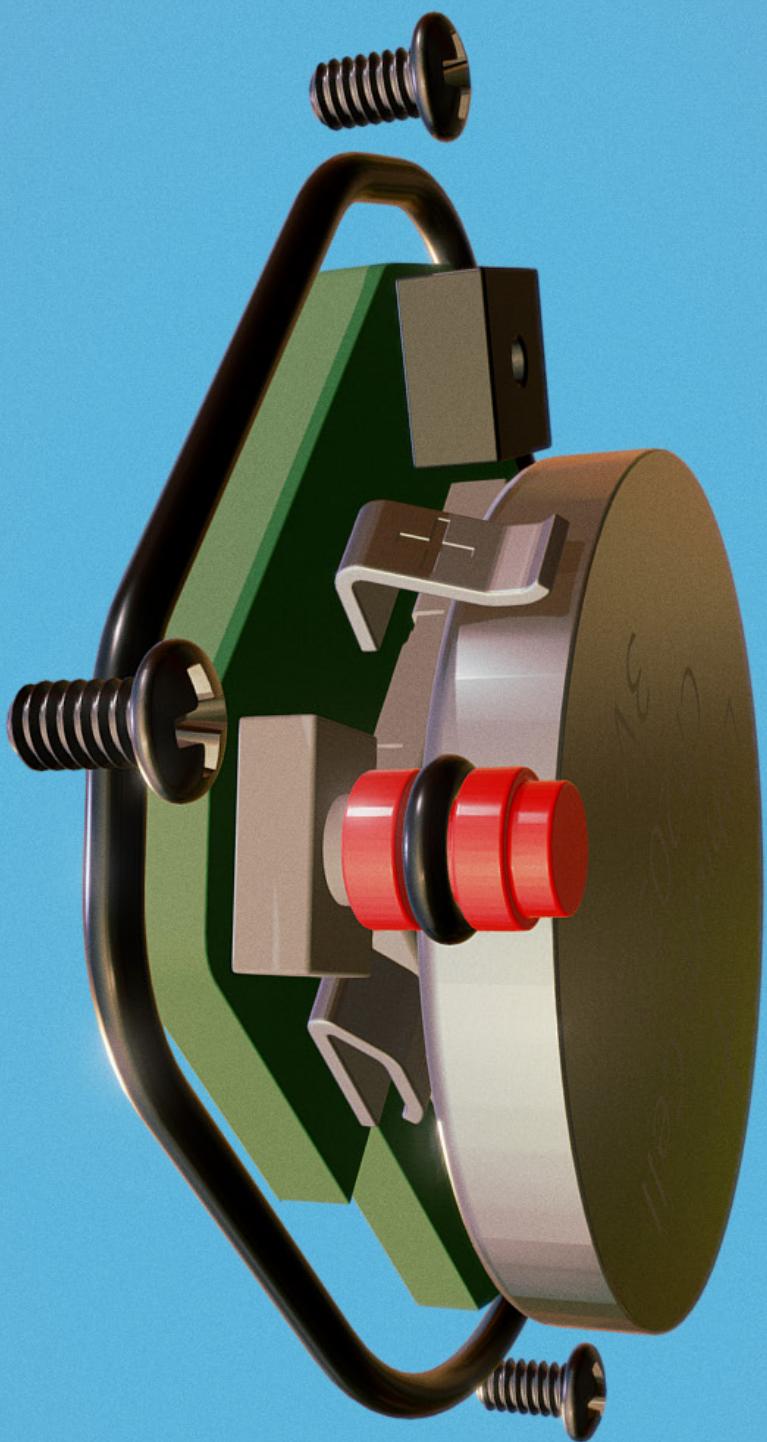
APÊNDICE A – APRESENTAÇÃO DO PRODUTO

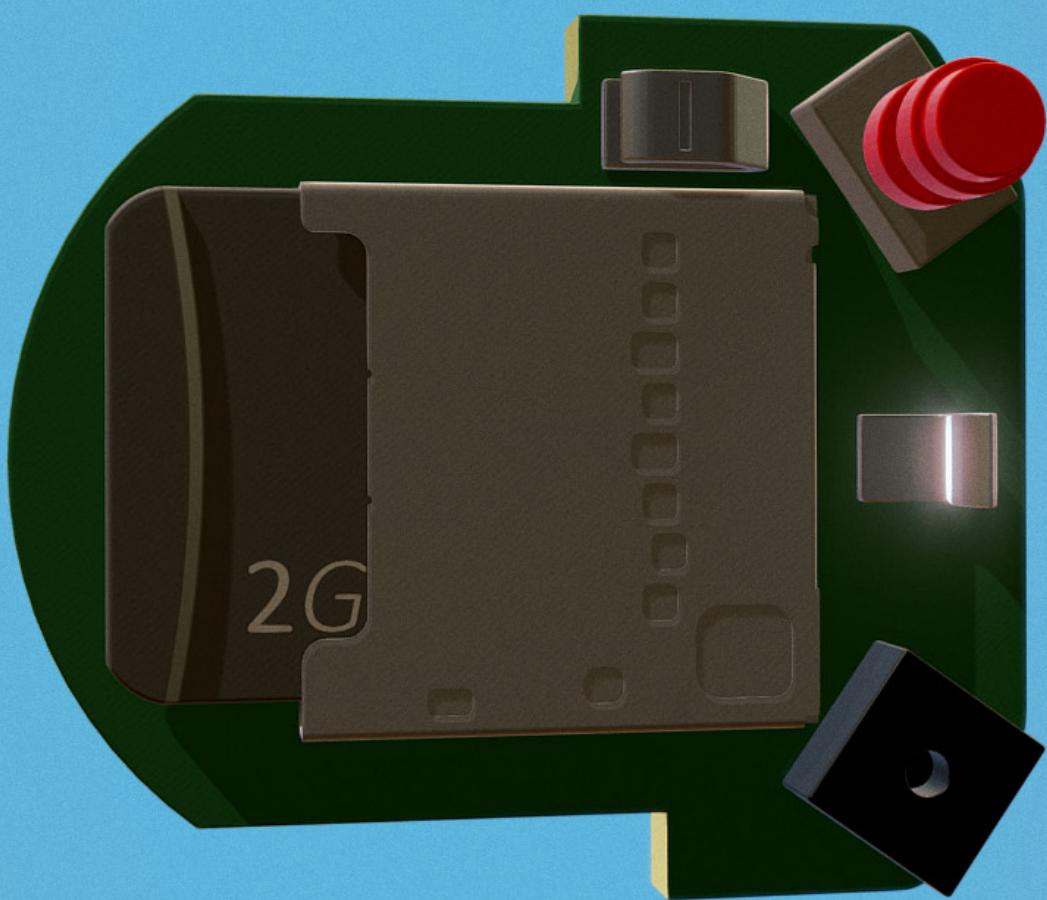


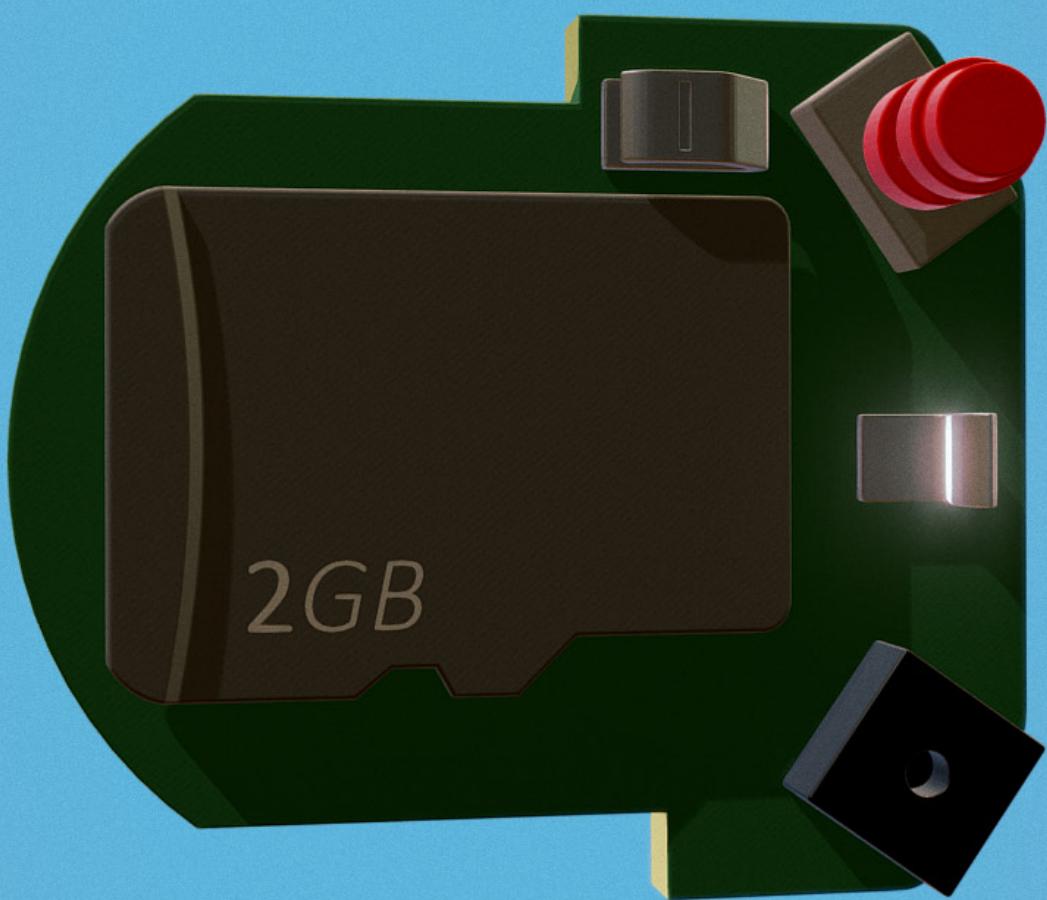


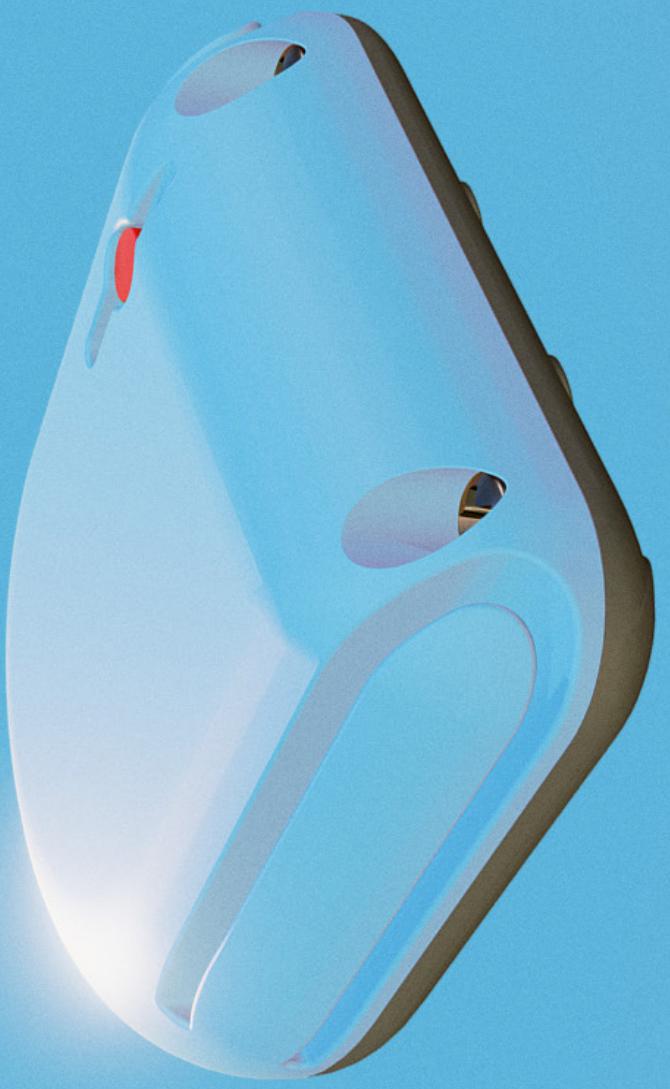


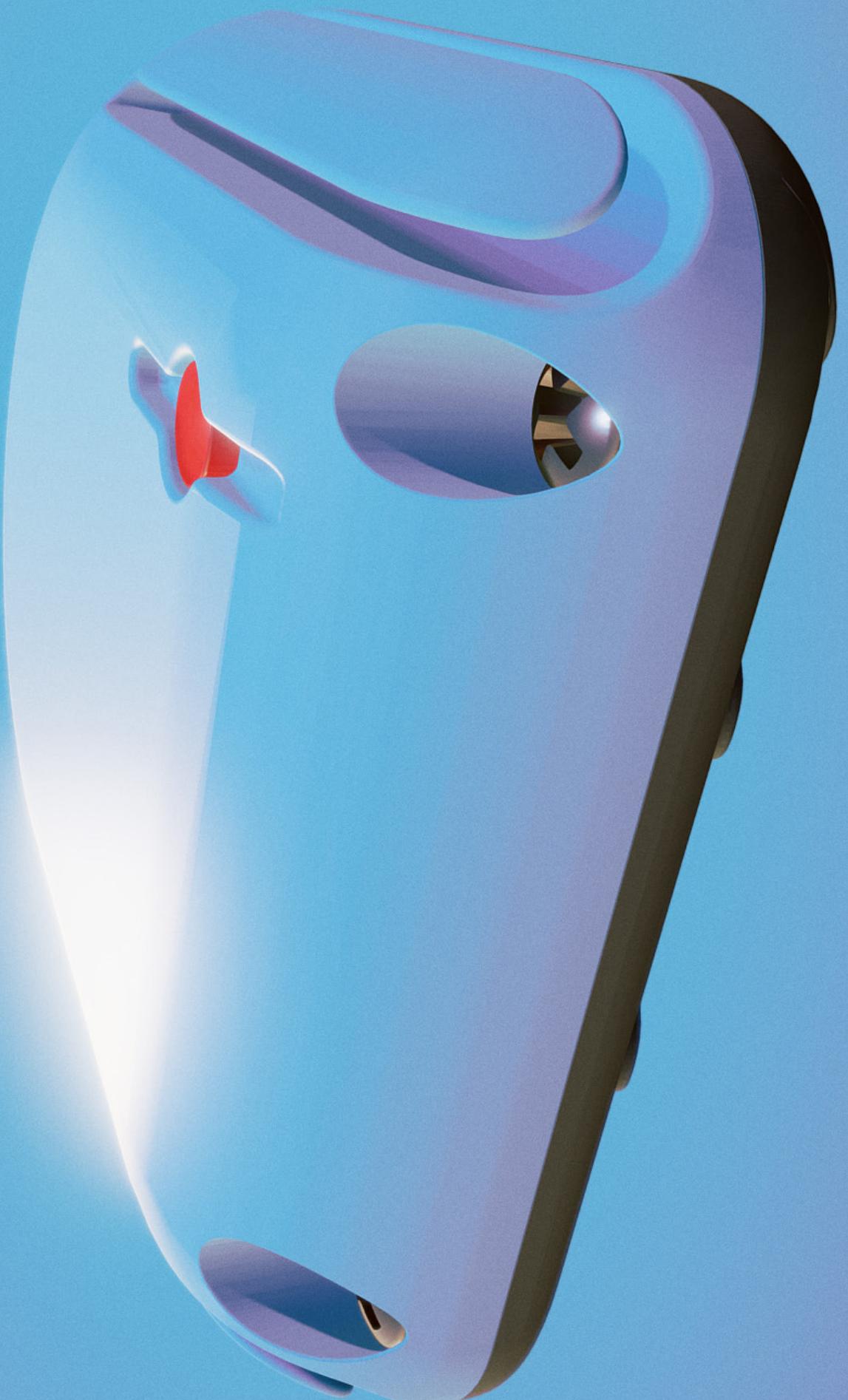






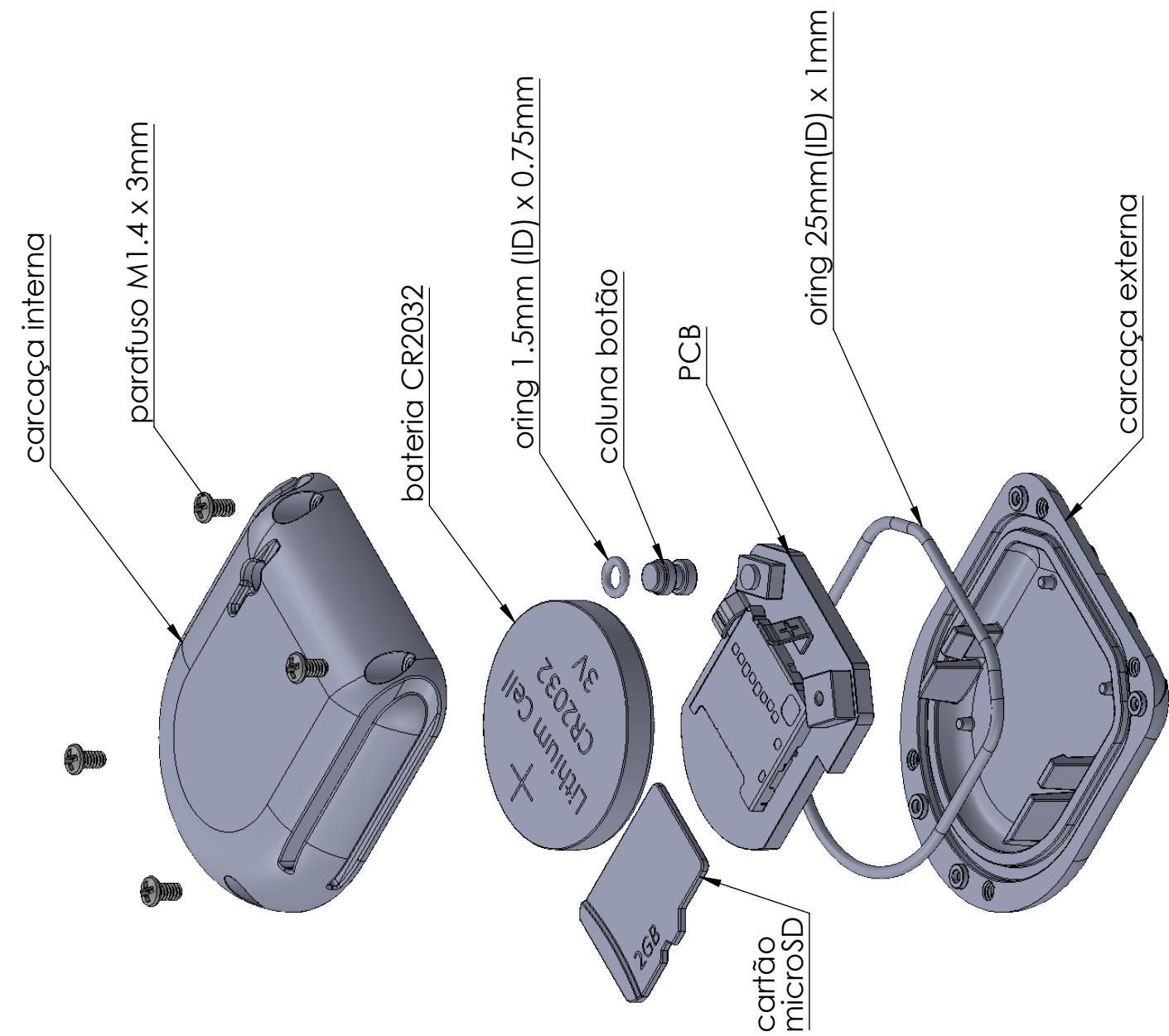






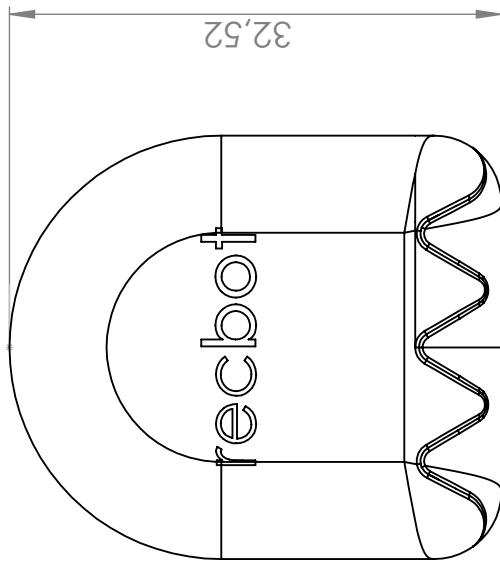
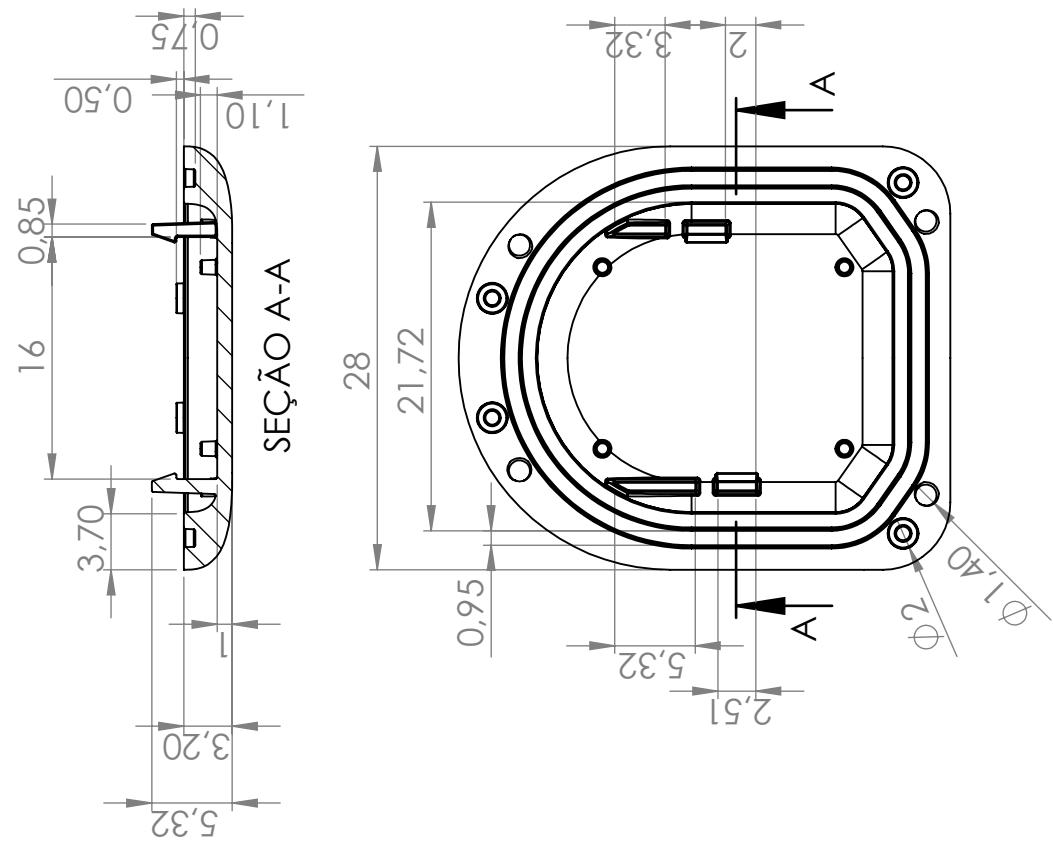
APÊNDICE B – DESENHOS TÉCNICOS

Vista explodida do módulo



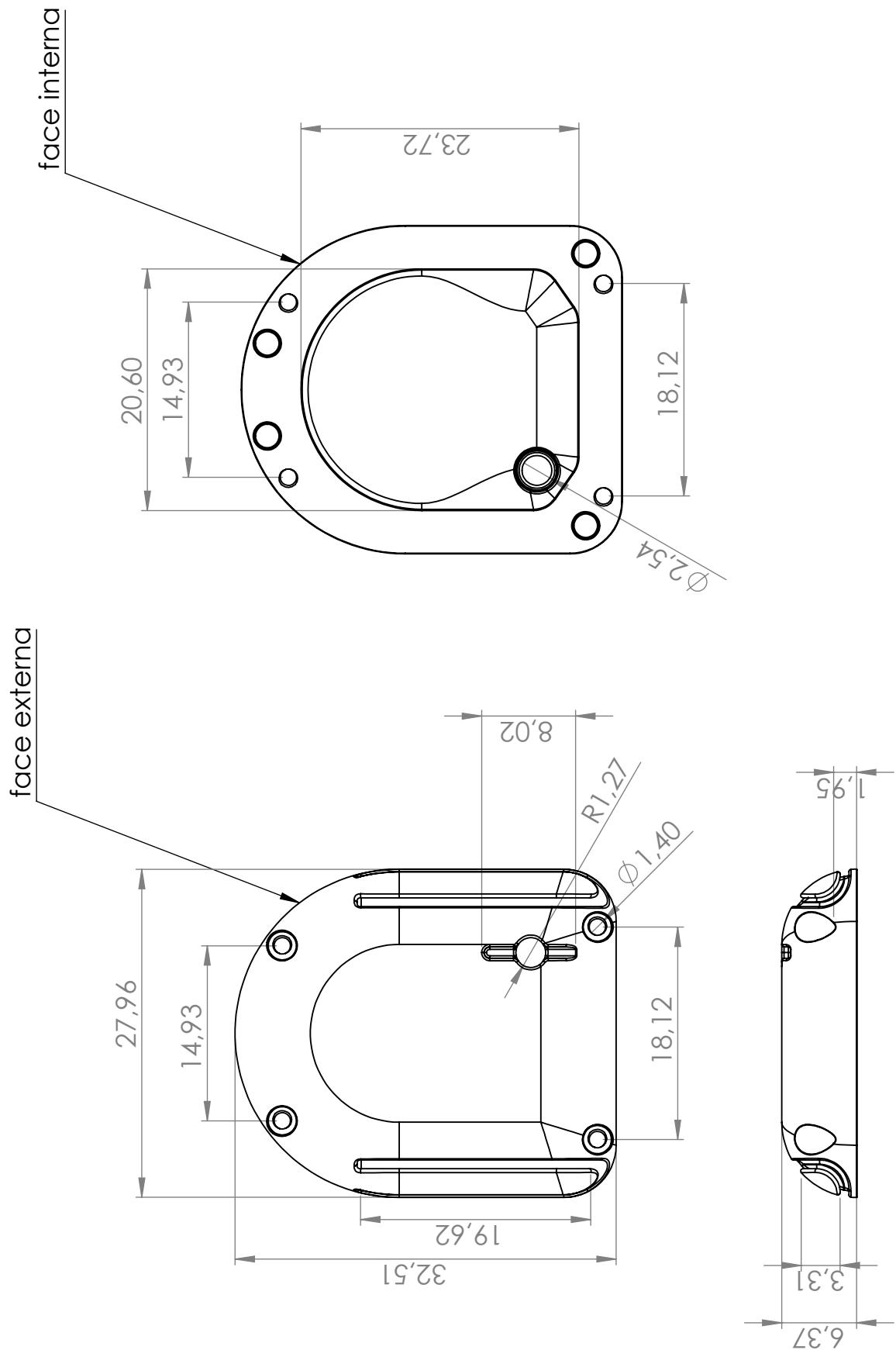
Escala 2:1

Desenho técnico da carcaça
externa do módulo, dimensões em
milímetros



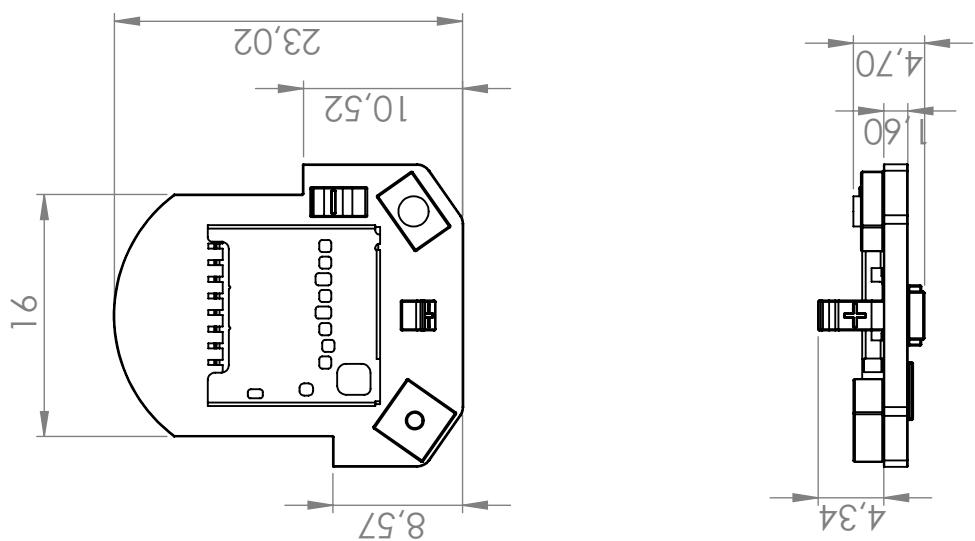
Escala 2:1

Desenho técnico da carcaça
interior do módulo, dimensões em
milímetros



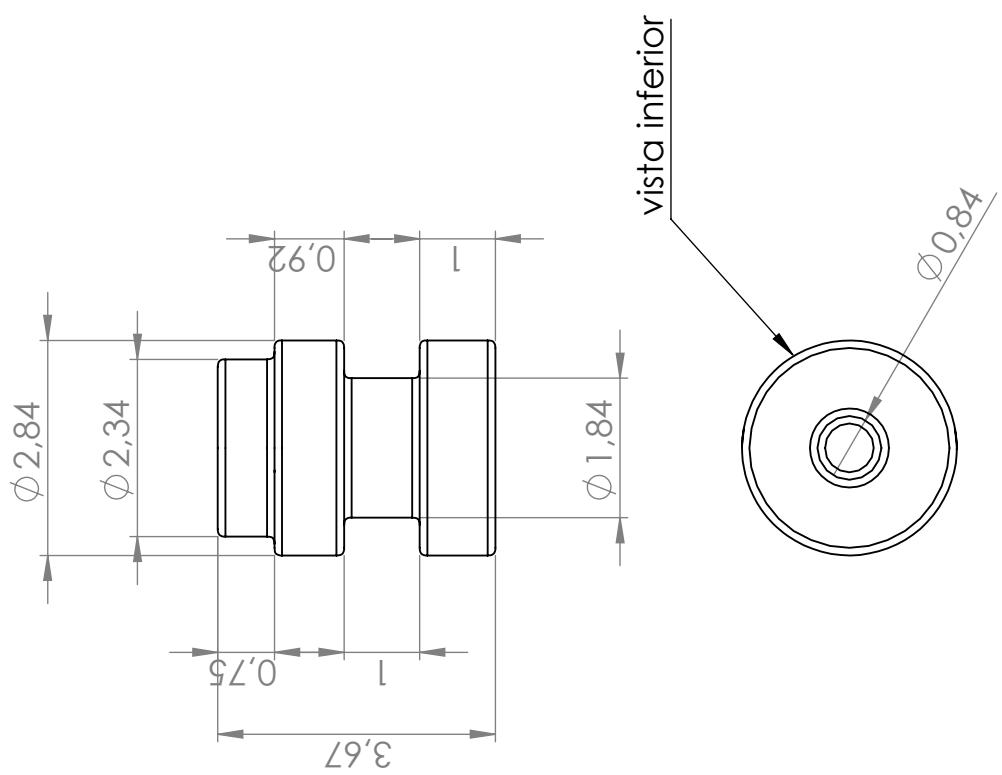
Escala 2:1

Desenho técnico do PCB,
dimensões em milímetros



Escala 2:1

Desenho técnico da coluna do botão, dimensões em milímetros



Escala 10:1

APÊNDICE C – TRANSCRIÇÃO DAS ENTREVISTAS COM NADADORES

Entrevistas realizadas no Campeonato Estadual Master de Natação, em 16 de Julho de 2016, no Grêmio Náutico União, em Porto Alegre.

C.1 F. masculino, 33

- Primeiramente, em qual categoria você está?
- De 30 a 34.
- Como você começou a nadar?
- Quando criança, tinha sete, oito anos, por questões de saúde, bronquite, asma, problemas de coluna, o médico indicou. comecei com essa idade, nadei até os 14 anos, quando fiz cirurgia na coluna, fiquei um tempo parado e retornei com 20, 21, e tô até hoje.
- Certo, quando tu fez a cirurgia tu não podia mais nadar, ou parou por outros motivos?
- Parei por uma fase de recuperação, que foi bem lenta, porque a cirurgia foi de toda ela, então demorou um pouco mas retornei aos poucos. Mas pra começar a competir mesmo demorei um tempo, comecei com 28, 29 anos.
- Sempre treinou na Stillo?
- Não, aprendi a nadar na Stillo quando criança, mas depois do tempo que fiquei parado, voltei no Grêmio Náutico Gaúcho, em uma piscina de 50m. Eu faço educação física e por questões de emprego voltei pra Stillo.
- E tu decidiu voltar a competir por motivos pessoais?
- Sim, o pessoal me convidou no Gaúcho, são outros tipos de treino.
- Quais são teus objetivos com a natação?
- Totalmente lazer e profissional, como sou professor de natação, busco sempre me informar em questões de técnica e treinamento, e por nadar é uma questão de lazer mesmo.
- Pra atingir teus objetivos de se informar e melhorar tua técnica você pesquisa bastante?
- Sim, a questão de nadar para melhorar a técnica para mostrar aos alunos é primordial, e ir à competições abre um leque gigante de informações com outros técnicos e colegas de outros clubes, é muito bom.

- Tu se vê nadando daqui a 5 , 10 anos?
- Olha, eu me vejo andando até enquanto aguentar, até os 90, não páro mais, é uma paixão que não consigo viver sem. Quando fico muito tempo parado sem nadar parece que tá faltando alguma coisa.
- Tu dá aula também?
- Sim, junto com a Magali.
- Para alunos de qualquer faixa etária?
- Sim, do infantil até o idoso, sem exceções, dou aula de natação e hidroginástica, comecei na iniciação na piscina pequena com quem tá aprendendo a nadar e agora passei pra grande com o pessoal que já sabe nadar e está aprimorando a técnica
- Então, tu disse que treina bastante?
- Sim, normalmente uma hora por dia, tentando fazer 5 dias por semana, às vezes não dá e falta uma, mas normalmente 5 vezes por semana.
- Qual é a parte mais importante do teu treino?
- Seria a questão de ganhar resistência cardiorrespiratória, e as técnicas vem junto, não tem como separar um do outro. Mas meu objetivo é cardiorrespiratório, resistência e explosão muscular, porque não nadamos só na natação, fazemos travessia também, que é outro ritmo, que são provas mais longas. Na natação é mais explosão, são provas curtas. Na travessia são 1500 3000 5000 metros, é uma maratona.
- Qual é tua parte preferida do treino, que você acorda e pensa, “Bah, hoje é dia de...”?
- É a parte da resistência, em segundo, a parte do estilo, explosão, saída, técnicas de virada.
- Tem alguma parte do treino que você gostaria de dar mais atenção?
- Sim, perna, eu sinto muito a perna, em provas muito curtas em que você precisa de muita explosão na perna, muita velocidade na perna, eu sinto que ela fadiga muito rápido, então é uma parte que eu deveria dar um foco maior no treino, às vezes é deixada de lado, se trabalha muito o braço e a perna fica um pouco devendo.
- Ficando no assunto do treino, quando você está treinando tu recebe feedback do treinador, ou você nada sozinho?
- Sim, eu treino com a Magali e ela me dá feedback o tempo todo, faço as coisas e ela me pára às vezes e aponta coisas, “Vamos tentar fazer alguma coisa diferente” e tá sempre corrigindo, e isso é muito bom, quando você treina e o treinador não dá tanto feedback

parece que desestimula. Quando você ve que o treinador tá te dando atenção, te dá um estímulo. Nem sempre eu consigo ir no horário com o treinador, e aí eu treino sozinho.

- Você recebe esse feedback enquanto está nadando ou depois?
- Quando estou nadando e depois. Não no meio da série, quando ela está pegando a série, ela dá o feedback depois. Mas quando está treinando saída ou virada ela dá o feedback na hora.
- Depende se o treino é específico para uma parte ou se é uma série?
- Sim.
- Então tu vê o feedback do treinador como importante?
- Sim, vital, se você não recebe o feedback do treinador assim, desestimula, você não sabe se está fazendo certo. E é importante pra melhorar os tempos, pra gente que compete, é importantíssimo, diferente daquele aluno que vai lá só pra se desligar, depende de cada um.
- Pode-se dizer que você controla bastante se está melhorando em diversos parâmetros, se está nadando mais rápido?
- Sim você sente em cada competição, o tempo que você bate, cansei menos, melhorei tal técnica, em cada competição você ve seu crescimento.
- Com que frequência você compete?
- Nas competições do RS, normalmente de 2 em 2 meses. No final do ano, na época de férias, tem as competições de travessia, tem uma organizadora em Bombinhas, e tem todo mês, de 1500m a 6000m, aí é outro tipo de treino, muito volumoso, que trabalha muito a resistência. Mas com intensidade mais baixa, em comparação com os treinos de competição, que chega uma época em que é muito pouco volume e intensidade alta. Na época de férias o foco é travessia e o treino muda completamente, mas não pára de nadar, só no período de férias e olhe lá, se tiver água...
- Você usa algum tipo de equipamento para o treinamento?
- Sim, uso o upperbody, para não bater perna e só treinar o braço, junto com o palmar, que vem em diferentes tamanhos, pequenos médios e grandes, quanto maior, mais força tu vai fazer, em compensação tu vai andar mais. Pés de pato, muito importante. E a pranchinha, que não é tão essencial, se tu não tiver uma você consegue fazer exercícios só de perna, agora pé de pato, upperbody e palmar são mais essenciais. Tem outras que a gente não tem alcance, como o cinto que você coloca peso, ah e o chute, que nós usamos para o trabalho de resistência e força, que você coloca na cintura e ele a água embolsa o páraquedas e você faz força pra puxar esse material, também se utiliza bastante, mas os mais utilizados são o upperbody ,o palmar e o pé de pato.

- E outros equipamentos, por exemplo, pra medir o tempo?
- Ah o cronômetro sim, é essencial, todos treinadores tem que ter, o apito, pras saídas se utiliza o apito. E outros materiais que a gente não tem acesso, por exemplo pra medir o lactato no sangue, a gente não têm, o custo é muito elevado.
- Vocês chegam a trabalhar com vídeo?
- Sim, se trabalha, gravamos e passamos o feedback pro aluno, porque às vezes você consegue falar pro aluno e ele não entende o que está fazendo errado, então você grava ele e mostra: “Aqui, isso que você está fazendo errado”, é um excelente mecanismo. Outro mecanismo que utilizamos é o segundeiro, um relógio que fica na beira da piscina que marca com um ponteiro os segundos, então quando tu não tem um treinador pra pegar os tempos, e tu só precisa controlar os tempos de descanso, você utiliza o segundeiro, “Ah, preciso descansar 20 segundos” você cuida nele, eu utilizo isso quando não tenho a Magali. Por exemplo, preciso fazer 10 de 100 dentro de 2 minutos, e eu chego lá em 1:35 e tem o tempo de descanso que eu cuido no segundeiro.
- Quando você está fazendo uma série, digamos tentando diminuir seu tempo tu sempre precisa do treinador cronometrando tua volta?
- Sim, ou com o treinador ou com o segundeiro, o ideal é o treinador, que é mais preciso, às vezes você não consegue ver o segundeiro porque o óculos está embaçado.
- Nesses vídeos, você grava fora d’água ou com uma câmera subaquática?
- A academia não tem essa câmera, então dependemos dos alunos, que levam e a gente grava. Mas a academia, eu e a Magali não temos, é um equipamento que custa mais, embora hoje existam câmeras mais baratas.
- Imagino que os alunos usem uma GoPro?
- Sim, tem um aluno que tem uma GoPro e teve até um treino sábado, que a Magali deu o treino e eu fiquei gravando, aí botava debaixo dágua e botava em cima, foi muito bom.
- Aí o feedback com o vídeo é dado mostrando o vídeo pro aluno?
- Sim, mostramos o vídeo. Nós não fazemos, mas tem técnicos que usam softwares específicos onde pode-se mostrar marcando no vídeo o movimento, “Ah, você tem que fazer essa braçada um pouco mais alta, flexionar um pouco menos o cotovelo”, ele vai te dando o feedback certo, demarcando na vídeo. Como não conseguimos fazer, temos que estar com o aluno junto, mostrar com a mão o que ele está fazendo errado.
- Mas mesmo assim eles consideram útil?

- Consideram muito útil, demonstramos fora da piscina o que estão fazendo errado, mas nem sempre eles entendem, e nem sempre o professor demonstra da forma correta, então é muito importante ter um segundo treinador assistindo pra ver se a demonstração está correta, ter o feedback de outro professor, às vezes tô mostrando pra um aluno assim, e a Magali que é minha treinadora, fala “Ah o que você está falando tá certo, mas seu gesto tá errado”, e o aluno entende muito pelo gesto, então às vezes você explica e ele não entende e você demonstra, e se você demonstrar errado ele vai entender que aquilo é o certo, então tem que estar treinando isso.
- Só mais um tópico: quais parâmetros quantitativos tu analisa num treino, ex velocidade, número de braçadas etc. tem um controle específico?
- Sim, tem exercícios que fazemos onde controlamos o número de braçadas, fazendo séries que a cada 50 temos que diminuir, e as vezes não é aumentando a velocidade que diminuímos a frequência, se aumentarmos a velocidade podemos aumentar a frequência, quem tem que diminuir, então tu tem que trabalhar a braçada para ela ficar bem feitinha. É importante tu saber o número exato de braçadas, por exemplo no nado peito ou borboleta pra você saber a chegada, encaixar a chegada, saber o momento pra conseguir fazer uma virada boa, não chegar muito em cima ou muito atrás deslizando, ou até quando entrar água nos olhos e tu não enxergar nada, ‘ah eu sei que em tantas braçadas vou chegar na borda’, e no costas principalmente, pra tu chegar na borda com a mão certa, ou executar a virada certa. Saber o não de braçadas é ideal, o ritmo que tu está nadando também é ideal.
- E o número de chutes?
- Tem uma preocupação mas nunca controlei o número de pernadas, eu posso dosar ela em uma prova mais longa, pernada 2 tempos, 4 tempos, 6 tempos, 2 tempos é 2 pernadas a cada ciclo de braçada, ciclo de braçada é duas braçadas completas uma com cada braço. Prova de 1500 eu costumo fazer perna de 2 tempos, mal bato perna, só braço, aí no final da prova começo a pernada, de 4 tempos a 6 tempos, faltando os últimos 50 metros, mas é difícil dosar isso.
- Pro treino de resistência, como tu controla a velocidade abaixo do teu máximo?
- Utilizamos o índice de lactato, segundo a nomenclatura, a1 60-65, a2 70-75, a3 80, um v02 que seria um a4 85 a 90, tolerância lactato tá nessa média tb 95% do máximo., No começo é difícil, tu acaba fazendo um pouco mais forte, mas com um certo tempo de treino tu já pega bem, sabe que o treino de resistência vai ser um endurance 2 ou 3. Quanto menor a intensidade, menor o tempo de descanso, e vice versa. Aí tu vai pelos tempos, eu sei que em 100 metros endurance 2 faço em 42s, em endurance 3 faço em 38,35 v02 passo pra 32 ou 30l pelos tempos eu sei que índice estou.
- O nível de lactato é medido?

- Não temos como medir, mas a gente faz treino de tolerância a lactato, onde fazemos forte, quase 100% com intervalos grandes de descanso, e poucos tiros.
- E quando o atleta domina a técnica, ou melhora, seus tempos melhora e todos índices acabam subindo?
- Sim, vai baixando os tempos e cada vez que tu aumenta o ritmo tem que fazer um tempo menor, tu não pode manter sempre aquele mesmo ritmo senão teu corpo não vai melhorar, tem que sempre tentar elevar isso.
- Quanto a técnica, a forma da braçada, o controle maior seria explicando fora da piscina ou gravando?
- Nós demonstramos o que estão fazendo errado e como se deve fazer, e a gente faz em primeiro lugar a técnica, se o aluno nada com o braço muito aberto, a gente vai fazer uma técnica em que ele tenha que raspar o dedão no corpo, ou o que chamamos de asinha de frango ou o aluno tem um rolamento, temos exercícios que trabalha pernada lateral e braçadas tentando fazer rolamento, tem vários tipos de técnica pra cada aluno. O aluno que tem uma braçada boa, que ele consegue flexionar bem o cotovelo bem e mantê-lo alto eu não tenho que passar uma técnica de asinha de frango, já se outro não flexiona o cotovelo eu vou passar, depende de cada caso.
- E a averiguação de que isso funcionou é feita acompanhando o treino
- Sim, nós passamos a técnica mas ela tem que ser feita também no aquecimento e séries, tem alunos que fazem a técnica só no momento específico e não continuam no resto do treino fica , aí falamos que passamos essa técnica pra você fazer certo, mas você tem que fazer no aquecimento tb, senão você tem porque fazer.

C.2 R. feminino, 19

- Me conta um pouco da tua história com a natação
- Desde pequena, minha mãe me colocou na natação, com uns 5 anos, e eu nadei até mais ou menos os 13 anos, fazia aula, e aí parei, não saberia te dizer exatamente o motivo, eu simplesmente parei, adolescência, e tal. Aí tentei fazer outros esportes, o que mais gostei foi velejar, que tinha a ver com água, tentei musculação outras coisas e nada funcionava. Aí o agora com 19 eu voltei a nadar, e com o objetivo de nadar mais, ir pros treinos, eu comecei a nadar com objetivo de fazer travessia, nadei um ano pensando na travessia, depois que nadei a travessia a Magali me viu e me falou “ah tu tem o perfil de quem curte uma competição que tu acha” aí eu vim, dei uma olhada, curti, achei legal, o ambiente é muito bacana sabe, e aí eu comecei a treinar mesmo

- Qual teu objetivo com a natação
- Lazer, é por esporte, praticar, um hobby, e por saúde também
- E a saúde te ajuda a manter uma rotina de treinos
- Isso, exatamente
- Tu se ve nadando daqui a 5, 10 anos
- Com certeza
- Qual a frequência de treino
- Pelo menos 4 vezes por semana, tento ir 5, mas 4 com certeza
- Quão longo é o treino
- É 45 minutos,. Mas sempre ficamos mais, uma hora, uma hora e vinte, sempre consegue ficar mais tempo
- Qual a parte mais importante
- A técnica. Técnica e resistência, e nunca parar de não ficar conversando, de concentração
- E a parte que você mais gosta
- Ah, é depois do treino, aquele alívio, aquela sensação e dever cumprido, de leve, Muito bom.
- Tem alguma parte do treino que tu gostaria de dar mais atenção mas não consegue por algum motivo
- Acho que mais a técnica mesmo, que acaba se perdendo um pouco talvez.
- A técnica seria a forma da braçada?
- Isso.
- Tu costuma nadar sempre com um treinador, como acontece o feedback
- Sim, durante o treino ele sempre fala ‘ó tá muito devagar, ou ó tá muito rápido, tem que fazer isso ou aquilo’, tá sempre em cima. E depois do treino sempre tem um comentário ‘ah podia ter feito isso, ou ‘ah tá muito bom hoje, aí depende do dia
- O feedback acontece enquanto tá nadando ele tá falando?
- Um pouco, mas durante o treino a gente não tem muito tempo, durante o aquecimento ela consegue falar algumas coisas, mas o feedback mesmo vem depois que acaba o treino, no mesmo dia.

- A treinadora te ajuda a treinar a técnica enquanto tu tá nadando
- Aham, tipo ‘ah hoje tua virada não tava tão boa, quem sabe faz assim’
- Tu já teve experiência com gravação de vídeo enquanto nada?
- Já, tem um colega nosso que tem uma goPro, então de vez em quando fazemos, e é muito estranho se ver nadando, Mas o feedback é muito bom. Por mais que a treinadora fale ah tem que entrar com o braço mais assim ou mais assado, e aí vendo, tu consegue se projetar assim na hora de nadar depois, entender melhor o que tá acontecendo. Porque às vezes tu não tem a percepção de que teu braço tá entrando pouco, e ela fala que tá, e aí me vendo eu percebo que realmente
- Tem experiência com equipamentos durante o treino
- A gente usa, pé de pato, palmar, parachute, essas coisas, o que temos à disposição na academia.
- E a treinadora tem um cronômetro imagino
- Sim, com certeza
- Quanto tu tá nadando tem alguma variável que tu gostaria de controlar? O número de braçadas ou de chutes
- A frequência de respiração, que é importante pro rendimento, porque cada vez que tu levanta o rosto pra respirar tu perde uns milésimos
- A respiração não se dá uma vez por ciclo de braçada
- Não, nem sempre, tudo depende da distância da prova, se eu tenho uma prova de 50 metros eu vou respirar muito menos, se é uma prova mais longa, aí a frequência de respiração é maior.
- Tu vê evolução no teu nado? Com que frequência tu compete
- Sim. Eu compito sempre que tem competição aqui, são 4 etapas do circuito, depois mais dois estaduais, que é certo, então seis certo. E aí depende, tem o Sul brasileiro e o Brasileiro, que aí não é sempre, que como não é em Porto Alegre aí tem que ver o dia. Isso em piscina, mas também tem a travessia ao menos uma vez por ano, então sete no mínimo.
- E a tua técnica varia entre travessia e as outras
- Sim, aí adaptamos o treino um pouco antes da competição.

C.3 B. masculino, 64

- Qual a tua relação com a natação
- Eu sou atleta desde criança, aí depois, quando entrei na universidade parei de nadar, e retomei natação há uns 5 anos atrás, estou na categoria 60-64 dos master, troco ano que vem.
- Então tu entrou na faculdade e ficou muito tempo sem andar
- Muito tempo sem nadar.
- Quando tu começou a competir, mais ou menos
- Com 13, 14 anos
- E agora quando voltou
- Com 61, 62
- Tu competia em quê campeonatos quando era jovem
- Competia, fui campeão estadual na época que era guri, nadei aqui pelo união, aí me mudei pra zona sul, nadei pelo grêmio náutico gaúcho, aí depois voltei pro União, aí depois a UFRGS começou a consumir meu tempo.
- Qual seria teu objetivo com a natação hoje?
- Saúde física e mental. Sempre trabalhei em áreas estressantes em TI, gestão em áreas de TI, então comecei a sentir a necessidade de extravasar um pouco e ao mesmo percebi que tava com uma barriguinha e tal, resolvi fazer duas coisas que eu gosto, a natação, e aí dar uma aliviada no stress e emagrecer um pouco
- E a competição é uma coisa secundária
- É, é uma consequência, tu tem que ter um pouco de espírito competitivo, senão tu não viria aqui, só treina no clube e não precisa vir, então imagino que todos aqui tem um pouco de vontade de competir
- Tu se vê nadando daqui a 5, 10 anos
- Me vejo andando enquanto tiver condições, a menos que tenha um problema físico.
- Qual a parte mais importante do teu treino?
- Acho que é desligar da rotina do dia a dia, focar no exercício que tá fazendo e esquecer o resto em volta, isso pra mim é o mais importante, dar aquela desligada, é um momento do dia em que to desligado do mundo, não to vendo televisão, deixa a mente ali passeando

- Qual a parte que tu mais gosta no treino?
- Pra te desligar, tu tem que nadar não extremamente relaxado, tu é obrigado a fazer algum exercício, que eu imagino que tenha a ver com a liberação de hormônios no organismo então, é uma coisa casada, é o desligar, ams atingir o momento que tuvai desligar, pra isso tem-se que atingir um certo ritmo, durante o treinamento, que é uma hora, três vezes por semana. Nessa uma hora tem que atingir um ritmo tal que, sei lá, produz os hormônios que te dão esa sensação
- Gostaria de dar mais atenção?
- Não. Tem melhorias, mas o meu foco não é por exemplo mudar meu estilo de nadar ou coisas do gênero, não tô focado nisso.
- Tu anda sempre com um treinador ao lado? Como ele dá o feedback
- Sim, não é um treinador exclusivo, é pra uma turma ele fica te monitorando, e te dando feedbacks, e outras coisas tu mesmo pede feedback ‘ó quer ver como tá minha virada etc.’, tu recebe e pede feedback.
- Ele dá feedback enquanto tu tá nadando ou depois de tu terminar uma série
- Não me lembro de nenhuma vez, a não ser que fosse algo grave, de ter sido interrompido enquanto faço 100 metros, interromper os 100 metros pra te realimentar. Não, termina os 100 metros e ‘ó, devia ter feito assim assim assado, agora vamos fazer mais cinquenta assim assim assado’, sem interromper, a não ser nas paradas.
- Como tu trabalha a técnica do nado? Embora tu não queira mudá-la, tu tem um controle sobre ela?
- Imagens. Uma vez eu filmei, com uma câmera embaixo da água, aí a técnica falava, ‘olha tu tá atravessando teu braço assim, assado’ aí olhava com mais calma quando chegava em casa, ficava olhando, eu mesmo filmando.
- A câmera era tua?
- Sim, eu ando de moto, então é a mesma câmera que eu uso pra filmar.
- Surgiu de tu essa demanda por filmagem?
- Eu comentei que tinha e sugerí trazer, ela disse ‘boa idéia’ até no momento também eu filmei outros colegas e gravei pra eles em um dvd e passei pra eels.
- Eo queue eles acharam?
- Interessante, mas não foi mais demandado, creio que houve falta de interesse.

- Os teus colegas que tu gravou também treinam três vezes por semana?
- Sim, é a mesma turma.
- Quanto a equipamentos pra natação, tu tem experiência em utilizar algum equipamento?
- Eu só uso equipamentos que são disponibilizados pela escola, a Stillo, só uso equipamentos que eles disponibilizam, são nadadeiras, pára-quedas, o que vão criando e introduzindo eu vou usando. Eu não invisto em equipamento.
- Tu já tinha a gopro porque já utilizava ela pra moto?
- Por causa de outro esporte, no caso motociclismo eu sou obrigado a comprar, tem que ter roupa específica, agora no caso de natação, agora no inverno faz falta um abrigo. Mas a grosso modo é um negócio independente, é calção, touca, óculos.
- O resto é tempo que tu investe pra treinar
- É
- Tem alguma variável que tu monitora enquanto tá nadando, por exemplo número de braçadas
- número de braçadas, com bastante frequência, na verdade assim: na metade das vezes que eu to nadando a menos em treinos curtos, eu tô contando as braçadas.
- Nas provas mais longas tu tá contando as braçadas?
- Conto as braçadas, é uma forma de tu digamos assim, esticar, aumentar seu rendimento, e um jeito de eu avaliar como tá meu ritmo, se eu tô aumentando o número de braçadas eu sinto que meu coração começa a bater mais forte, então provavelmente eu vou chegar mais rápido, ou eu estou cansado com pouco oxigênio, então é isso que tá acontecendo, então é um jeito de te auto-monitorar.
- Tem alguma outra variável que tu gostaria de monitorar mas não consegue no momento?
- Olha, eu teria curiosidade de saber como anda, por exemplo, o consumo de oxigênio, se tivesse alguma coisa que não me atrapalhasse e tivesse medindo ‘teu consumo de oxigênio tá assim tá assado’, batimento cardíaco, que mais... número de braçada, distância. Eu sei que tem relógios da Garmin se não me engano que conta as viradas que tu dá, então te ajuda bastante, pra quem é meio desligadão. Eu usaria esses equipamentos pra medições esporádicas, nadar durante um ano fazer umas quatro medições, mas não durante o dia a dia.

C.4 A. feminino, 33

- Me conta como começou tua história com a natação
- Eu nado desde pequeninha, desde os 7 anos, fui até os 12, competindo e tudo, parei aos 12 e retomei ano passado, com 33, que é uma diferença bem grande (risos). Então, eu nado desde novembro do ano passado, eu costumo dizer que eu praticamente recomecei tudo, tu tem ali mas eu recomecei, e a minha relação com a natação é praticamente um amor incondicional, eu simplesmente não existo hoje mais sem a natação na minha vida, é praticamente tudo pra mim, e é um prazer imensurável nadar, me sinto viva quando tô nadando. Quando eu tô dentro da água eu sinto que é o meu mundo. Aqui eu me sinto meio ET, mas lá na água eu me sinto OK (risos). E é um desafio, né, um desafio bem grande, porque a gente vai pra competição somos uma equipe, é um desafio diário, principalmente a partir dos 30 se torna um desafio bem complexo mas é muito, muito bom.
- O que te levou a recomeçar agora?:
- O esporte, eu não tava fazendo nada, aí eu pensei, vou voltar pra natação mas vou começar devagar, eu sempre fui meio ogra, então ia pra competição e coisas assim, queria voltar devagar. Mas o que desencadeou mesmo foi a lembrança, questão nostálgica, do quão bem me fazia naquela época, pensei assim não, e eu também trabalhava muito, tava trabalhando tri enlouquecida, e consegui uma brecha na minha vida, no trabalho, então aí eu fiquei mais tranquila e consegui retornar.
- Qual seria teu objetivo com a natação agora?
- Melhorar os meus tempos, evoluir e melhorar os meus tempos
- Isso é bem hardcore, assim
- É, (risos) tipo diminuir muito os tempos
- Tu se vê nadando daqui a 5, 10 anos?
- Me vejo, daqui a 50 anos nadando. A minha intenção é nunca mais parar. Se Deus me permitir eu não paro nunca mais
- E tu compete com que frequência?
- Sempre, todas as competições eu vou. E faço travessia também, eu gosto de fazer travessia no mar, que é outra pegada mas é muito bom, faz super bem também, eu gosto bastante da sensação no mar, e nunca mais parar, pro resto da vida.
- Com que frequência tu treina?
- Diariamente

- Até no final de semana?
- Sábado também, sábado de manhã
- Durante quanto tempo, mais ou menos?
- 50 minutos, aproximadamente, 50 assim forte mais um pouquinho, às vezes se estende um pouquinho mais mas 50 minutos.
- Qual tu diria que é a parte mais importante do teu treino
- São só tiros, os tiros de velocidade, que aí eu treino muito a resistência, e isso pra mim é muito, eu me concentro muito nessa parte, principalmente na questão da braçada, de conseguir esticar bem o braço, puxar bem, finalizar, a fase submersa.
- Seria a técnica?
- É, mais a parte técnica, exatamente.
- Qual a parte que tu mais gosta no teu treino?
- Ai, tudo. O que eu gosto é tudo.
- Desde o começo, desde o vestiário até terminar, assim. Tudo, eu gosto muito, muito muito de treinar. É o que me mantém, assim, viva (risos) a louca, parece que tem 110 anos, é isso que me sustenta viva (risos). Mas é mais ou menos assim.
- Tem alguma parte do teu treino que tu gostaria de dar mais atenção mas não consegue por algum motivo?
- O reforço muscular, que aí não é na natação, o reforço muscular pra natação que inclusive eu vou começar agora segunda, que é uma coisa que eu não tavaq fazendo e tem que fazer, é obrigatório, eu preciso de massa, até porque eu sou muito fininha nos braços, então eu preciso adquirir um pouquinho mais de força e de massa muscular.
- Vai fazer musculação?
- Vou fazer musculação. Funcional.
- Enquanto tu tá treinando, como acontece o feedback do treinador?
- O tempo todo. Do aquecimento à soltura, o tempo todo, ela fica em cima. Porque é uma piscina curta, é uma piscina de 25 então a técnica, a Magali, consegue ficar o tempo todo conversando sobre respiração sobre a braçada, é muito, muito criteriosa, é uma ótima técnica, eu sou suspeita pra falar (risos) mas é muito boa.
- Ela te dá feedback quando tu tá na borda da piscina e não quando tu tá nadando?

- Não, quando eu tô nadando, fala ‘não’ pede pra parar ‘faz direito’, dá um choque umas coisas assim (risos), um taser né ‘faz direito!’ aí a gente faz (risos).
- Como tu trabalha a técnica do nado?
- Como? Bah, de várias formas. A gente faz muito educativo, exercícios educativos, que se fala aí se trabalha bastante a técnica,d e várias formas.
- Tipo asa de galinha?
- Isso, vai puxando da coxa, tem um que tu coloca e finaliza com a pranchinha nos glúteos aqui, tu bota uma mão aqui. Enfim, tem vários, braçada só submersa, uma braçada de cada vez, vem lá de trás tocando a cabeça também.
- Tu faz isso enquanto nada de um lado da piscina pro outro ou parada no lugar
- Quando tu nada, no nado
- Quanto a equipamentos pra natação, tu tem experiência?
- Eu tenho, de equipamento pé de pato e palmar, só. Que eu comprei, meus. Mas eu quero comprar um snorkel, e pranchinha, e poboy essas coisas assim mais simples.
- Que variáveis tu mede no teu treino, por exemplo, frequência de respiração, frequência de pernada, tu mede elas objetivamente?
- Sim, tentando fazer respiração bilateral, uma cadênciade braçadas maior, a pernada também, 6 pra uma respiração, mas é praticamente mais ou menos tudo junto, ela faz trabalho de soltar a perna, soltar pra bater bem sabe, então, seria mais ou menos isso.
- Contar braçadas também?
- Sim contar as braçadas também gente faz, tem um exercício que tu conta as braçadas, 50 metros tem que dar tantas braçadas, e ir diminuindo.
- Tem alguma variável que tu gostaria de medir mas não consegue hoje por algum motivo?
- Ah talvez no peito, eu tenho que melhorar bastante, é uma coisa que eu tenho que puxar mais, investir mais tempo no nado peito, que é um horror, bem ruim pra mim. Mas é, a técnica de peito seria algo que eu gostaria, tu diz isso né, a técnica no nado?
- Sim, mas também uma variável digamos, agora tu conta o número de braçadas, mas digamos que tivesse o lactato no sangue?
- Ah entendio, sim, com certeza, que nem fazem os atletas, mas a gente não tem, mas gostaria né pra poder avaliar né, óbvio.
- E alguma outra que tu se lembra?

- Não.
- Uma outra pergunta mais específica seria como tu mede quando tu tem que nadar por exemplo com 90% da tua capacidade?
- Ah, vai meio no olho, é muito no instinto, eu não fiz nenhum teste ainda pra fazer isso. Tem amigos meus que fazem lá na ESEF, e aí tu consegue analisar a cadência, mas eu nunca fiz. Mas tenho que fazer.
- Tu se sentiria à vontade em ir fazer um teste em outro lugar?
- Com certeza me sentiria, eu preciso fazer o teste, eu até vou me consultar com um médico lá do centro de medicina esportiva do mãe de deus pra iniciar se ele puder, não sei como vai ser mas ele comentou de fazer alguns testes. Então quero sim, com certeza, o que mais quero saber, o que tenho que fazer né.

C.5 R. masculino, 18

- Me conta um pouco da tua história com a natação
- Eu aprendi a nadar com 6, 7 anos, mas comecei a competir, a treinar pra valer com 13.
- E desde então tu tá competindo?
- Competindo desde 2008 não parei mais
- Tu tá em qual categoria?
- Pré-master
- Qual é o teu objetivo com a natação?
- Meu objetivo seria ter o máximo desempenho possível, ver quais são os meus limites, e ter um esporte pra manter minha forma física, definir o corpo, musculatura também, faço musculação também.
- Tu se vê nadando daqui a 5, 10 anos?
- Sim, daqui a 5, 10 anos eu acredito que vai ser melhor que hoje
- Tu treina quantas vezes por semana?
- De quatro a seis
- Durante quanto tempo?
- Uma hora por dia

- Qual tu diria que é a parte mais importante do teu treino?
- Os tiros
- E a parte que tu mais gosta?
- Também os tiros
- Tem alguma parte que tu gostaria de dar mais atenção mas não consegue?
- A questão da técnica, de melhorar o estilo, porque eu treino lá em santa maria, e lá não tem toda essa estrutura de ter um técnico na beira da piscina e tudo, eu recebo os treinos por e-mail e não tenho assim quem fique me olhando na beira da piscina pra corrigir meu estilo.
- Então tu treina em Santa Maria sem um treinador do teu lado
- Isso.
- Tu não tem feedback do treinador então?
- Só do meu pai quando eu treino junto com ele, nos sábados
- Pra trabalhar a técnica do nado, como tu faz?
- Eu vejo vídeos educativos na internet e copio, e com meu pai também aprendo um pouco.
- Tu tem alguma experiência com equipamentos pra natação?
- Às vezes eu treino com pé de pato, com palmar, com bóia, mas não uso snorkel. Porque é outra falta de equipamento no clube em que eu treino.
- Treinando sozinho, como tu mede teus tempos?
- Só nas competições e nos treinos que meu pai está junto, meu pai também é nadador.
- Então não é toda vez
- Não
- Que variáveis tu mede quando tá nadando? Como número de braçadas, número de chutes, número de respirações
- número de braçadas, eu faço pra atingir peito, tento dar o menor número de braçadas que eu consigo, pra aproveitar melhor o deslize e ter uma pernada mais forte.
- E a respiração?
- Eu treino isso também, no crawl e borboleta tento respirar o menos possível

- Tem alguma coisa que tu gostaria de medir mas não consegue por falta de estrutura?
- Apenas isso que falei de feedback

C.6 A. masculino, 38

- Me conta um pouco da tua história com a natação
- Cara eu nadava quando eu tinha 12 anos, e nadei até os 15 só, e depois, ah estudo, aquela correria toda, acabei voltando só nos 29 anos, voltar a nadar, agora tô com 38 anos, Literalmente desde os 30, comecei a nadar novamente. Então, minha relação é de paixão mesmo pelo esporte.
- Qual seria teu objetivo com a natação hoje?
- Mais é qualidade de vida, saúde e qualidade de vida.
- Tu costuma competir com frequência?
- Não, não com frequência
- Qual a frequência dos teus treinos?
- Três vezes por semana,
- A duração dos treinos seria de?
- Uma hora de treino
- Tu se vê nadando daqui a 5, 10 anos
- Sim, me vejo nadando, pelo caso do bem-estar né e da saúde
- Qual é a parte mais importante do teu treino?
- É o condicionamento físico né, me manter num patamar, digamos assim, bom. Então a parte mais importante pra mim é essa.
- E a parte que tu mais gosta?
- Quando eu termino o treino e me sinto satisfeito assim, é o bem-estar de ter feito um treinamento.
- Sensação de dever cumprido?
- Isso, dever cumprido.
- Tem alguma parte do teu treino que tu gostaria de dar mais atenção mas não consegue por algum motivo?

- Algumas modalidades de nado, como o borboleta e o costas, que pra mim são um pouco mais difíceis, até porque por causa da idade eu não sou tão flexível, tenho uma certa rigidez aí, então, é mais essa parte.
- Tu treina sempre com um treinador ou tu treina sozinho?
- Sim, com um treinador
- E como acontece o feedback do treinador?
- Ah é bom, o feedback é bom, às vezes eu que não corropondo bem ao feedback, não ela, ela, o treinador, me passa um feedback bom, que que eu tenho que melhorar, às vezes eu acerto, às vezes eu não acerto, então, é mais uma questão de eu melhorar.
- Mas pelo que eu tenho falado com o pessoal aqui, realmente tem uma dificuldade da pessoa, mesmo quando ela recebe o feedback, conseguir fazer exatamente, e às vezes nem o treinador consegue mostrar bem o que ele quer
- Sim, às vezes tem isso, É, é uma questão de comunicação né, com o treinador. Então como disse, às vezes ele passa o feedback, a gente tenta melhorar aquilo, às vezes a gente acerta às vezes não, é uma questão de comunicação né, e até do próprio atleta
- Como tu trabalha a técnica do nado?
- Como assim?
- Digamos que tu vá nadar crawl, como tu faz a braçada?
- Eu tento chegar o mais perfeito possível, que ainda não é muito perfeito, mas eu tento buscar a técnica certa
- O treinador mostra como tu deveria fazer, dá um treinamento específico?
- Sim, ela dá um treinamento específico e dá uns toques de qual é a postura, qual é o movimento certo do nado, aí a gente tenta buscar isso, mas como disse, o feedback a gente recebe, às vezes a gente acerta, às vezes não. Então às vezes o treinador tem que ter uma certa paciência.
- Quanto a equipamentos, tu tem experiência com utilizar equipamentos no teu treinamento?
- Olha, equipamentos pra mim são os mesmos, não muda muito né, eu não sou muito de ‘ah buscar os melhores equipamentos’, até porque o meu objetivo com a natação é mais o meu bem estar né, não é uma questão assim de alto nível. Mas quanto a equipamento, tranquilo. Tô satisfeito.
- Tu tem variável que tu mede enquanto tá nadando, digamos, número de chutes ou número de respirações?

- É, mais as respirações, faço as medições mais nas respirações, pra poder manter um equilíbrio. Braçada e pernada às vezes sai já automaticamente, mas a respiração eu tento sempre ficar atento.
- E como tu mede a respiração?
- Por braçada. Quando eu tô num nado forte eu dou no máximo quatro ou cinco braçadas, e mínimo assim eu dou umas seis braçadas.
- Por respiração?
- Por respiração.
- Tem alguma variável que tu gostaria de medir mas não consegue?
- Eu acho que essa questão relativa à postura eu acho, se tá deslizando bem, às vezes eu fico meio com dificuldade de reconhecer se tô andando bem ou se tô andando muito devagar.
- Tu já teve experiência com gravação de vídeo enquanto nada?
- Não, gravação não.
- Teve algum outro método?
- Só o treinador, de cima da piscina pra baixo, olhando eu nadando.

C.7 Descrição de equipamento para nadar parado por um dos entrevistados

- É um equipamento pra nadar parado, uma vara de fibra de vidro uma corda e um cinto, fica fixado na beira da piscina a tensão é feita pra cima, e não pra baixo, porque como a densidade corpórea é menor na água, eu fiz um que é de borracha, e ele puxa pra baixo, só que tu tem que fazer muita força, braço e perna, pra se manter na água.
- Tu nada parado ou tem uma resistência contra ti
- É ele que faz resistência, ele que segura, e é claro, se tu fizer mais força, vai dar mais tensão, se tu fizer menos... aí, tu é que regula, pode fazer velocidade, pode fazer várias coisas, corrigir estilo, parado. É bem interessante, amanhã vou trazer pros técnicos conhecerem, aqui ninguém conhece ainda. Quem treina com isso, pelo que o cara me disse, é a seleção americana, ele viu isso lá e desenvolveu aqui, eu vi na casa dele, e ele falou 'ah vou te dar um pra ti levar lá pra tua casa, eu perguntei posso levar pros técnicos? Ele disse pode, aí se alguém e interessar eu vou pegar o número de telefone e passar pra ele, pra eles fazerem contato. Dá até, por exemplo, a minha piscina é de 8 metros, e eu nado em casa, parado. Eu já nadava com borracha, agora eu nado com esse sistema. Ele vem todo, já

vem com suporte, tu faz um buraco, com a broca de uma polegada, aí ele tem um suporte que encaixa e um coisinha que vai o caniço, desse tamanho assim (gesticula), caniço eu chamo, mas a vara essa, já vem com a cordinha e com o cinto em EVA direitinho e tudo, não machuca, muito show.

- A corda é do que mesmo?
- É desse material, um nylon, só que ela é fininha, uma corda fina, que grossura eu vou dizer, menos que um dedo, metade de um dedo.
- E ela não estica?
- Não, ela fica bem esticada, mas a vara é que faz a tensão. Eu vou deixar instalado na raia amanhã, se o pessoal quiser usar, eu vou deixar numa raia ali pro pessoal experimentar.
- Quando eu tava fazendo a pesquisa pro TCC, até apareceu esse equipamento, ams mais em artigos no exterior.
- Agora tem no Brasil. Ele não colocou à venda assim em massa porque o produto dele é piscina, sabe, ele pensou nesse produto mas ele não tem uma equipe de vendar pra técnicos, clubes, eu sou o primeiro que vai mostrar, talvez quando eu trouxer o pesoal vá dizer ‘ah eu vi num filme’ ou ‘vi num artigo científico’, agora no Brasil é só ele.
- E tu é técnico da stillo?
- Não, eu nado pela Stillo, a Magali que é técnica, e o Fábio é assistente dela.
- Posso te entrevistar como nadador?
- Pode, pode, deixa eu só pegar mais uma bolachinha ali
- Então, eu tô fazendo meu TCC em design de produto, na ufrgs
- Ah, esse produto era interessante tu dar uma olhada
- Tu tem o contato?
- Entra no site da Igui, o nome do produto dele é raia.
- É piscina, mas eles tem todos os equipamentos, deve ter até especificação técnica.
- Me conta um pouco da tua história com a natação
- Eu comecei a nadar com 6 anos de idade, aí não consegui ficar porque eu ia teer que morar longe de pai e mãe em Novo Hamburgo, meu pai mora em Santo Antônio. Aí eu voltei a nadar aqui no União, quando eu tinha 14 anos. Nadei até os 17 pra 18, época de cursinho, faculdade, vestibular. Na época não tinha incentivo, daí eu parei. Voltei há 6 anos atrás,

fiquei todo esse tempo praticamente sem entrar numa piscina. E Há seis anos atrás, fiz mountain bike nesse meio tempo, só como lazer, nunca competi, e há 6 anos, agora em Junho vai fazer 6 anos, aliás, fez já, eu comecei a competir outra vez, comecei a nadar aliás, e aí no final do ano, 2010, eu fiz uma prova do SESC, de masters, seniors que eles tem, conheci lá um pessoal, me convidaram e comecei a competir no master daí. Águas abertas e piscina. A partir daí, em 2012, 2013, final de 2013 eu rompi o tendão do ombro esquerdo, aí eu tive que parar de nadar durante quatro meses, e eu comecei a correr, porque o meu guri faz ultramaratona, aí comecei a ar umas corridinhas e comecei a gostar, e resolvi fazer triatlo. Isso foi em 2013. Aí 2013 pra 2014 eu só treinei, competia em piscina, algumas provas de rua umas rústicas, né, tudo na base de 5 quilômetros, não faço prova maior do que isso. E 2014 eu fui pro triatlo daí, me classifiquei pro mundial, fui pro mundial, ano passado em Chicago em 2015 esse ano é Cozumel mas eu não vou, faltou grana. Daí fui lá pro mundial ano passado e sempre fazendo aulas abertas, piscina, e triatlo, aquathlon, duathlon eu não faço porque eu não gosto, se não tem água eu não gosto. Isso aí há seis anos.

- Em qual categoria do master tu tá?
- Master a minha é 60 mais agora. Tô com 60, faço 61 esse ano, eu já nado esse ano com 61, porque a idade é contada em dezembro.
- Qual é o teu objetivo com natação hoje em dia?
- Olha cara, meu maior objetivo muito mais é rever os amigos, essa galera toda que a gente faz, se divertir. É divertimento, pra mim. E, de repente superar algum tempo meu e levar umas medalhinhas pra casa, pendurar lá nas minhas coisas lá, né, mas o maior mesmo é a gente poder rever os amigos, sabe isso aí é o maior prazer, hoje eu tenho amigos no mundo inteiro em função do mundial, porque foi a possibilidade que eu tive ano passado, fiz amizade com o mundo inteiro então no Facebook, WhatsApp, não sei o que, a gente tem amizade pelo mundo todo, e hoje se eu quiser ir pra praticamente todos os estados do Brasil, acho que teria onde ficar entende, tenho amigo por todo o Brasil, todos estados praticamente, porque ano retrasado até junho do ano passado, percorri esse Brasil aí não sei quantas cidades fazendo aquathlon triatlo né, fui daqui até Manaus. Então, passando aí provas aqui, provas lá e culminando em Chicago, que é um pouquinho mais adiante né (risos).
- Tu se vê nadando daqui a 5, 10 anos?
- Olha cara, eu pretendo chegar que nem tá o seu ... ai, com 90 anos, 92 anos, se Deus quiser, se ele não quiser também, vamos nadar lá em cima, lá embaixo acho que não.
- Qual tu diria que é a parte mais importante do teu treino?

- O que eu acho mais importante? Cara o que eu faço, eu venho aqui na Stillo uma vez ou duas vezes por mês quando dá, eu moro em Taquara, eu gosto de vir aqui porque aí a Magali faz treino técnico comigo, pra corrigir estilo. Estilo e saída, e chegada, e isso tudo né então isso é importante pra mim, porque eu treino sozinho. E além de tudo lá eu tenho 16 metros, quando eu chego aqui essa piscina parece que não tem fim, porque eu não tenho ritmo pra isso, então é muito complicado nadar em piscina longa, pra mim. Muito complicado. Mas o mais importante pra mim é técnica que é pra mim poder corrigir, e isso aí já me fez muita diferença. Quando eu treino técnica faz muita diferença.
- Ea parte que tu mais gosta do teu treino?
- Eu gosto de tudo. Eu, tendo água, nadar parado que é pesado pra caramba eu gosto, nadar longa distância eu gosto, eu tô com um projeto agora mês que vem, que eu faço parte de sse grupo que fez, só um parênteses, o nadadores pela vida, nós somos em 3 aí a gente tá fazendo uma arrecadação de alimentos,e u tô programando um evento ali pra Santo Antônio, em vou nadar 12 horas, sem parar. Só que to procurando alguém que me de um quilo pra cada 100 metros que eu nadar. Porque no ano que vem eu quero fazer, que eu não vou, por falta de dinheiro, esse ano, conseguir fazer a trilha do arvoredo, que é 24, eu quero ver se faço ano que vem, já que u não consegui fazer esse ano. Então eu calculo fazer uns 30, 35 quilômetros, e eu preciso de uns 300, 350 quilos de alimento pra dar pra uma instituição de caridade, isso é lá em Santo Antônio.
- Quando tu treina sozinho, tu tem uma duração específica que tu treina todo dia?
- Normalmente é natação de segunda as exta, no mínimo quatro vezes por semana, quando é época de prova, eu diminuo, aumento velocidade e diminuo distância. Normalmente eu faço treino até uma semana antes da prova, eu faço treino de 45, 50 minutos, até uma hora e meia, dependendo o treino que eu faço,e quando é época de prova, eu diminuo pra no máximo 40 minutos, entre aquecimento, treino e soltura, dá no máximo 35, 40 minutos, daí eu priorizo velocidade, distância varia de , época de prova, 900, mil metros, fora de época três mil, três mil e quinhentos quatro mil.
- Tem alguma parte do teu treino que tu gostaria de dar mais atenção, mas não consegue por algum motivo?
- Cara, eu gostaria de dar atenção a uma piscina longa, que eu pudesse ter pra pegar ritmo, coisa que eu não tenho. A de 25 eu já não sinto tanto, mas nessa aqui eu sinto muito. Mas não tem assim nada que eu gostaria de dar mais atenção a não ser a parte técnica, mas aí eu teria que ter um técnico junto me acompanhando, aí eu o que eu faço lá na Stillo.
- Quando tu tá com a Magali, como acontece o feedback sobre o teu treino
- Ela já na hora passa, corrige, se eu tenho qualquer dúvida, envio nas nossas redes sociais ou falo pelo telefone, mas é já na hora assim, aí eu tento corrigir. Quando eu volto, daí ela

vê se melhorou ou não, que é sempre a cada 20, 30 dias, então, tem que ser assim, não pode ser de um treino pro outro

- Enquanto tu tá com a Magali, ela te dá o feedback depois de tu nadar ou durante o treino?
- Durante o treino ali ela já me dá ‘faz isso, faz assado’.
- No meio de uma série?
- Exatamente. Terminou a série ela fala ‘olha corrige aqui, mais aqui’, porque daí a cada tiro ou a cada sessão ela já vai corrigindo eu vou tentando melhorar dentro, pra chegar lá no finale estar no movimento certo, pra poder daí continuar com ele
- Seria então um feedback após cada sessão?
- Exatamente
- Ela não interrompe teu nado?
- Não, ela deixa terminar, vai fazer, sei eu, 5 de 100, no final de cada 100 ela ‘ó corrige aqui, corrige ali’, aí pára o outro ‘melhorou, não melhorou, piorou’, então assim a gente vai. E, se precisar, uma hora aí sim, faz só o movimento certo pra depois continuar.
- Como treinar só salto, por exemplo?
- Sim, aí sim, aí é saída. Vamos treinar saída, vamos treinar, então faz uma, faz duas, faz três e aí vai.
- Então pra técnica tu basicamente depende do feedback da Magali?
- Sim, exatamente.
- Tu tem experiência com gravação de vídeo enquanto tá nadando?
- Não, não tenho. Não tenho nem equipamento pra isso.
- Falando em equipamentos, que equipamentos vocês usam na Stillo, no teu treino?
- No meu treino eu uso palmar, eu uso prancha, eu uso flutuador de perna e uso o nadar parado. Que é esse sistema agora que eu usava uma borracha antes e hoje eu uso essa vara, esse material novo. Ah, e o paraquedas, também uso. Paraquedas eu gosto pra fazer treino de força.
- Quando tu treina sozinho, como tu controla o teu tempo?

- Eu tenho um relógio, que eu controlo, da Garmin. Eu controlo a distância e tempo, então a cada série minha, claro, tem um movimento que eu perco, que tem um movimento de braço, não é bater e tal [na borda da piscina], mas eu tenho. E agora eu quero ver se compro um outro que é de borda, pequenininho, que cada toque que tu dá, aí tu pode contar até 90 voltas se não me engano, é bem legal, quero ver se eu compro.
- O relógio que tu tem, tu tem que apertar nele pra dizer que tu fez uma volta?
- Tem que dar um toque nele pra ele guardar o tempo. Ele não dá o tempo exato porque eu tenho esse tempo de ‘ah, tô com o braço aqui, tenho que vir com o outro e bater em cima dele’.
- Quais seriam as variáveis que tu mede no teu nado?
- Como assim?
- Digamos, número de chutes, de respirações.
- Cara, eu tento contar pernada mas é difícil. O meu relógio conta o número de braçadas. Respiração eu faço treino bloqueado, não-bloqueado, aí eu faço o treino que a Magali passa, então ela também passa, mas eu gosto de fazer o treino bloqueado também. Aí eu vou fazendo treinos, é 4 por 1, 5 por 1, 6 por 1, dependendo. Mas eu também uso treino de bloqueio. Agora perna eu não consigo controlar, isso é uma coisa que eu não consigo. Eu tenho até um defeito com águas abertas eu bato muita perna, e aí dá o cansaço né. Eu deveria bater menos perna, eu bato muita perna, eu sou velocista, além de tudo então, já tá automatizado.
- Tem alguma variável que tu gostaria de mensurar mas não consegue?
- A perna só. O meu relógio inclusive ele faz uma média, chama ‘slof’, eu não sei dizer como ele calcular, ams ele calcula o número de braçadas pela distância e tempo. Quanto menor for o slof, melhor o aproveitamento. Então ele faz esse cálculo.
- Quanto menos braçadas por distância e tempo, melhor?
- Exatamente, conforme o número de braçadas, o tempo e a distância, ele mede, daí ele me dá esse número,e esse número, quanto menor ele for melhor, quer dizer que o teu rendimento de braçadas tá melhor, que não adianta tu aumentar o número de braçadas em 50 metros, ter um ritmo bastante alto e ter um rendimento muito pequeno, que é o patinar que a gente chama. Esse te dá direitinho, se tu teve um bom rendimento.
- Como ele mostra isso?
- Em números.
- E tu tem como salvar depois?

- Sim, ele vai tudo pro aplicativo, eu tô com ele no celular ele marca tudo. Só que tem que ter internet, pra funcionar, e aí fica guardado, eu tenho um ano de treinamento guardado.
- Tu lembra o nome do modelo do relógio?
- É Garmin vivo não sei o quê.
- Tu comprou em 2015?
- Comprei ano passado, trouxe junto lá dos Estados Unidos, mas não faz um ano né, eu fui pra lá em Setembro. Mas eu tenho todos os treinamentos de lá, marca o número de passadas por dia, eu só não trouxe ele hoje porque ele é meio caro e eu não queria deixar ele na bolsa. Mas número de passadas que eu dou durante o dia, corridas que eu faço, ciclismo, marca tudo, tudo, tudo.
- Tu teria interesse em investir mais em equipamentos pra natação?
- Cara, eu quero comprar um pé de pato pra mim, que eu não tenho. E eu acho que só. Não preciso outras coisas.
- Esse relógio que tu comprou foi especificamente pra te ajudar na natação?
- Não, triatlo também, porque é muito mais prático do que levar celular junto. Celular eu levo que é pra, sei lá, pedir socorro, quando tô correndo ou pedalando né. Pedal principalmente a gente vai muito longe, agora, é que é muito mais prático, muito mais simples de se usar. E o aplicativo dele depois que eu baixo eu tenho todas as informações.
- Só precisa passar pro aplicativo no final, não precisa estar ligado o tempo todo?
- Não não, só no final, posso estar sem o celular, quando eu chego em casa, entro via wi-fi e ele baixa. Aí tem outras coisas, posso ouvir música, controlar com ele pra não controlar no celular, ele me mostra se está chamando, se entrou WhatsApp, se entrou Facebook, me mostra tudo isso, mas isso aí não interessa. Claro, quando eu tô com ele conectado ele marca né, aí se o telefone tá lá eu olho, ‘ah, é o fulano que tá ligando, entrou Facebook lá do fulano’, essas coisas, é uma facilidade que ele dá mas o que me interessa é pra esporte.
- Os dados que ele te dá.
- É, batimento cardíaco, e tudo, que eu comprei a tirinha também, me dá todos os dados.
- E tu controla o nível de oxigênio no sangue?
- Não, isso ele não marca.
- Nem lactato?
- Não.

- Quando tu treina, digamos, pra resistência, que tu tem que nadar com menos intensidade do que teu máximo, como tu controla pra saber que tá andando 95%, 90% do teu máximo?
- Ah, eu faço o seguinte: Eu mais ou menos sei os meus tempos, que que eu faço, eu programo ele pra ele tocar a cada 5 minutos, vibrar a cada 5 minutos. E aí eu vou contando o número de piscinas, mentalmente aí eu sei ‘olha, tô no ritmo que eu quero ou não’. Pelo número de piscinas que eu to dando. Eu posso regular ele de 5, de 10, de 15, de quanto quiser, então eu regulo, como a piscina é curta, a cada 5 minutos, então eu sei quantas piscinas eu quero no ritmo que eu quero fazer, eu tenho que fazer por exemplo 9 piscinas, só um lado dela, se eu tiver dentro desse ritmo, se ele vibrar antes é que eu tô lento, se ele vibrar depois é que eu tô rápido. Então é esse o controle que eu faço. E aí eu aumento ou diminuo.

C.8 M. feminino, 55

- Me conta um pouco da tua história com a natação
- Bom, eu sempre gostei de nadar, aprendi sem aula, quando criança, aí quando eu tinha, sei lá uns 20 e poucos anos eu entrei no IPA, fui nada no IPA, assim, só escola de natação, aí gostei, aí eu fui, parei, comecei de novo, até que eu me mudei pra zona sul, aí a Stillo ficava bem pertinho da minha casa, quer dizer aí abriu a Stillo, e eu comecei a nadar lá em 96. E aí passou acho que um ano e eu entrei pra equipe, e aí eu só parei quando fiquei doente, em 2012, que eu tive câncer, e aí eu parei, e agora esse ano eu tô retornando.
- Em qual categoria do Master tu tá?
- Atualmente eu tô... já até me perdi. Eu entrei na C, eu acho, não seis e eu tô na E ou F, que é 55 mais. Tô meio perdida, se tu quiser fazer as contas.
- Qual seria o teu objetivo com a natação hoje?
- Eu gostaria de recuperar um pouco da forma física que eu tinha antes, dos meus tempos que eu fazia antes, que eu fiquei muito tempo parada, né. Ou pelo menos não piorar muito. E continuar andando que nem aquela senhora de 92 anos que nadou comigo ali. Esse é o meu objetivo. Longevidade.
- Então tu se vê nadando daqui a 5, 10 anos?
- Ah, com certeza. É um prazer nadar.
- Quanto ao teu treino, quantas vezes tu treina por semana
- Eu treino em média 4 vezes por semana.
- Duração de quanto tempo?

- EU diria que é uma hora. É 45 minutos mas a gente faz um pouco mais, então acho que é em média uma hora. Mas não mais, muito mais que isso.
- Qual tu diria que é a parte mais importante do teu treino?
- Ah, não sei tu tá dizendo em termos de?
- O que tu sente como mais importante pra alcançar teus objetivos com a natação?
- Ir 4 vezes por semana.
- frequência é o mais importante?
- frequência. E aquecimento, acho que tudo é importante, tudo faz parte, parte de um ciclo, tem épocas mais fortes, volume, então tudo.
- Qual é a parte que tu mais gosta no teu treino?
- As séries. Eu gosto de ter um tempo. E fazer com todo mundo junto. Gosto de fazer braço também.
- Tu gosta de saber quando tempo demorou,. Se está melhorando na série?
- Ah sim, seu tu faz uma série que tu tá melhorando ou mantendo o mesmo tempo, é importante.
- Tem alguma parte que tu gostaria de dar mais atenção pro teu treino mas não consegue por algum motivo?
- Eu acho que perna, tenho que melhorar perna, força da perna.
- Enquanto tu tá nadando, como acontece o feedback do treinador?
- Ué, às vezes ela corrige alguma coisa, quando dá os tempos.
- Depois de completar uma série por exemplo, ela te diz?
- Não ela vai dando os tempos de acordo com quando a gente vai fazendo, sei lá a gente faz 15 metros, alguma coisa, às vezes tem um que ela fala mais do estilo coisa assim.
- Como tu trabalha a técnica de nado? Tem um treinamento específico?
- Tem, ela faz o específico de técnica, e durante o aquecimento também.
- E equipamentos, que tu utiliza?
- Ah a gente usa o pboy, o palmar, a pranchinha, o pé de pato, às vezes aquele negocinho, paraquedas. Às vezes roupa. Basicamente é isso. Já comprei uma vez um palmar especial pra borboleta e pé de pato também mais curtinho.

- Tu costuma comprar teus próprios equipamentos ou esporadicamente?
- Eu já comprei, agora no momento não porque eu cheguei a conclusão que não adiantava eu nadar com aquele pequenininho, se os outros tavam com o normal. Aí é uma questão, talvez até fizesse bem mas eu não rendia tanto quanto os outros e tu acaba não usando. O problema, por exemplo, de ter teu próprio pé de pato é tu ter que carregar. Esse pra mim é o problema, se não tivesse... a parte chata da natação é essa.
- Tem variáveis que tu controla enquanto tá nadando, digamos, frequência de respiração, frequência de braçadas?
- Ah, em termos de equipamentos, seria ótimo se tivesse um que contasse as braçadas, porque é muito chato. Mesma coisa contar quantas voltas tu deu. Geralmente tu conta e dali a pouco se perde. Um segundo que tu pensa, menos que um segundo que tu pensa numa coisa tu já esqueceu quantas braçadas deu, quantas voltas tu já deu. Então isso realmente eu gostaria de ter.
- Algo que computasse pra ti essas coisas?
- É.
- Até tem, eu acho, relógios que fazem isso hoje em dia. Aí depende também do grau de investimento, se tu sente que estaria disposta a investir em equipamentos pra natação?
- Ah, a gente tá sempre comprando alguma coisa. Ah com certeza, quem nada tá sempre comprando alguma coisa.
- Quando tu tem que nadar e cuidar, por exemplo, pra nadar 90% da tua capacidade máxima, como tu faz?
- Ah, não existe 90% da capacidade máxima. Eu dou, tem assim aquele, quando é 70 ou coisa e tal, tu nada assim, um pouquinho mais devagar, eu sinto pelo fôlego. E aí o 90, pra mim é quase tudo assim, aquele vO₂ que dizem, tu dá o que deu. Eu realmente não consigo fazer. Não sei quanto eu faço.