

# **Sistema de Aquisição e Análise de Sinais na Prática de Natação**

**Jorge Miguel Silvério do Carmo**

Dissertação para a obtenção de Grau de Mestre em

**Engenharia e Gestão Industrial**

Orientadores: Prof. Paulo Luís Serras Lobato Correia

Prof<sup>a</sup> Ana Luísa Nobre Fred

**Juri**

Presidente: Prof. José Rui de Matos Figueira

Orientador: Prof. Paulo Luís Serras Lobato Correia

Vogal: Nuno Manuel Robalo Correia

**Maio 2015**



## **Agradecimentos**

A realização da presente dissertação de mestrado contou com um enorme apoio por parte de diversos elementos aos quais gostaria de evidenciar o meu agradecimento.

Em primeiro lugar ao Professor Paulo Correia, ao Hugo Silva e à Professora Ana Fred, pelo enorme apoio prestado. Foi sempre com enorme disponibilidade e interesse que fui orientado e esclarecido tanto nos momentos de dificuldades como ao longo de todo o percurso de realização deste trabalho.

Instituto de Telecomunicações e a toda a equipa responsável pelo desenvolvimento do BITalino a facilidade e rapidez em disponibilizar recursos para o desenvolvimento do protótipo.

Ao Clube de Natação do Colégio Vasco da Gama e todos os seus representantes pela cedência do espaço e do tempo indispensáveis para a realização dos testes. Agradeço igualmente a todos os meus companheiros de treino por se terem disponibilizado para todas as fases dos testes.

À Joana pela forte apoio dado em todos os sentidos e pela ajuda prestada em momentos mais difíceis. Ao Ruben por todo o suporte prestado, sem o qual não seria possível realizar este trabalho. Ao Melancia pela ajuda crucial.

Finalmente, e sem dúvida um enorme agradecimento, a toda a minha família pela ajuda e apoio prestado ao longo de todo este processo de formação.

## **Resumo**

A Natação é uma modalidade desportiva que um grande controlo das capacidades técnicas, físicas e psicológicas de um atleta. Neste contexto, um treinador desta modalidade tem um papel fundamental no desenvolvimento de atletas em ambiente de competição. Para tal contribui igualmente a recolha de dados para a avaliação do desempenho de um nadador, por aumentar o conhecimento da dinâmica que está subjacente na prática da natação e ainda ajudar o atleta a atingir o seu melhor nível de desempenho.

Na última década, têm sido desenvolvidos trabalhos académicos que visam melhorar a monitorização e a disponibilização de informação sobre o desempenho de atletas através da implementação de novas tecnologias. Atualmente, são comercializados produtos com características inovadoras, nomeadamente, na área da natação. No entanto, dos produtos até hoje desenvolvidos, nenhum apresenta características favoráveis à comunicação em tempo real com o treinador, levando assim à existência de uma necessidade no mercado em que se inserem. Assim, a presente Dissertação surge como plataforma de apoio ao desenvolvimento de um produto que satisfaça essa necessidade.

Neste sentido, este trabalho focou-se na contextualização do âmbito em que se insere e na clara definição dos objetivos a cumprir. De seguida foram analisados os processos de desenvolvimento de um novo produto e, conseqüentemente, foram estudadas diversas técnicas e sistemas de monitorização do desempenho de um nadador. É com base neste estudo que se utiliza o BITalino como protótipo para o desenvolvimento um sistema de monitorização em tempo real que auxilie o treinador durante as sessões de treino.

**Palavras-chave:** Desempenho, Monitorização, Natação, Biosinais.

## **Abstract**

Swimming is a sport known for requiring a high level of control of the athlete's physical, technical and mental capabilities. In this context, a swimming coach has a fundamental role in the development of a high competition level athlete. Performance data acquisition helps the improvement of the athlete's performance, by allowing a bigger knowledge of the swimming dynamics.

In the last decade, some academic works have tried to improve swimming monitoring and performance data through new technologies. Actually, nowadays there are commercial products with innovative features in the sports monitoring field that are made for swimming. However, none of those products is able to communicate with the coach at real time, leading to the existence of an opportunity to create a new product. Consequently, this master thesis has emerged as an approach for the development of a new solution.

In order to overcome that gap, this work begins with the description of the context in which it is included as well as the definition of its main goals. Then, are exposed and analyzed several new product development tools. Thus, according to a product development management perspective, have been studied various performance monitoring systems and techniques. According to this study, it is proposed a new system for the real-time performance monitoring, using BITalino as a tool to support swimming trainers during training sessions.

**Keywords:** Biosignals, Monitoring, Performance, Swimming

# Índice

---

Agradecimentos .....	i
Resumo .....	ii
Abstract.....	iii
Lista de Figuras .....	vii
Lista de Tabelas .....	ix
Lista de Abreviaturas.....	x
Capítulo 1 - Introdução .....	1
1.1. Contextualização.....	1
1.2. Objetivos da Dissertação .....	2
1.3. Metodologia .....	2
1.4. Estrutura da Dissertação .....	3
Capítulo 2 - Desenvolvimento do Produto .....	5
2.1. Introdução .....	5
2.2. Modelo do Funil do Desenvolvimento do Produto .....	5
2.3. Etapas Genéricas .....	7
2.3.1. Fuzzy Front-End .....	7
2.3.2. Conceção .....	8
2.3.3. Testes e Avaliação.....	9
2.4. Processos do Desenvolvimento do Produto .....	9
2.4.1. Stage-Gate Process .....	9
2.4.2. Spiral Process e Overlapping Stages .....	11
2.5. Conclusão .....	11
Capítulo 3 - Monitorização do Desempenho do Atleta na Natação .....	13
3.1. Introdução .....	13
3.2. A Natação e o Papel do Treinador.....	14
3.2.1. Métodos de Observação do Nadador .....	15
3.2.2. O Papel do Treinador no Desenvolvimento do Atleta.....	15
3.3. Indicadores de Desempenho .....	17
3.4. Sensores Usados na Aquisição de Dados .....	18

3.4.1. Acelerómetro .....	19
3.4.2. Análise de Vídeo .....	20
3.4.3. Eletrocardiografia .....	20
3.5. Localização dos Sistemas .....	21
3.6. Sistemas Desenvolvidos e Produtos Existentes .....	23
3.6.1. Sistemas de Utilização Autónoma .....	23
3.6.2. Sistemas de Utilização Assistida .....	27
3.6.3. Produtos Comercializados .....	30
3.6.4. Resumo dos Sistemas e Produtos .....	32
3.7. Conclusão .....	34
Capítulo 4 - Proposta de um Novo Sistema .....	35
4.1. Introdução .....	35
4.2. Plataforma de Desenvolvimento do Protótipo – O BITalino .....	35
4.2.1. Componentes do BITalino .....	37
4.2.2. Modo de funcionamento do BITalino .....	38
4.3. Sistema Proposto .....	39
4.4. Tratamento dos Sinais .....	42
4.4.1. ECG .....	43
4.4.2. Acelerómetro .....	47
4.5. Conclusão .....	50
Capítulo 5 - Testes e Resultados .....	52
5.1. Introdução .....	52
5.2. Procedimento para Realização de Testes .....	52
5.2.1. Testes a Seco .....	53
5.2.2. Testes Dentro de Água .....	54
5.3. Resultados dos Testes a Seco .....	54
5.4. Resultados dos Testes na Água .....	59
5.5. Limitações .....	63
5.6. Conclusão .....	64
Capítulo 6 - Conclusão Final e Trabalho Futuro .....	65

Bibliografia .....67

Anexos .....70



## Lista de Figuras

Figura 1.1 – Metodologia da Dissertação .....	3
Figura 2.1 – Funil do Desenvolvimento do Produto (Hauser, et al., 2006) .....	6
Figura 2.2 – Etapas <i>Fuzzy Front-End</i> (Adaptado de (Kim & Wilemon, 2002) e de (Koen, et al., 2002)) .....	8
Figura 2.3 – <i>Stage-Gate Process</i> (Cooper, 2008).....	10
Figura 3.1 – Exemplo de um acelerómetro (Davey, et al., 2008).....	20
Figura 3.2 – Sistema de (Ohgi, 2002) .....	24
Figura 3.3 – SwimMaster (Bachlin, et al., 2009) .....	25
Figura 3.4 – Sistema Desenvolvido em Pansiot, et al. (2010) .....	26
Figura 3.5 – Componentes do sistema de Hagem, et al. (2013) .....	27
Figura 3.6 – Componentes do Sistema de Khoo, et al. (2009) .....	28
Figura 3.7 – Sistema Integrado proposto por Chakravorti, et al. (2013).....	29
Figura 3.8 – Instabeat (Hobeika, et al., 2013).....	30
Figura 3.9 – AquaPulse (AquaPulse, 2013) .....	31
Figura 3.10 – SwimSense (SwimSense, 2013).....	31
Figura 3.11 – Garmin Swim (Garmin, 2013).....	32
Figura 3.12- Polar FT1 (Polar, 2013) .....	32
Figura 4.1 – Componentes BITalino - versão <i>Board</i> (Silva, et al., 2014).....	36
Figura 4.2 – Menu de Início do OpenSignals (da Silva, et al., 2014) .....	38
Figura 4.3 - Aquisição de Sinais no OpenSignals .....	39
Figura 4.4 - Sistema Proposto – Dispositivo de aquisição de sinais colocado junto do corpo do atleta comunicando por <i>Bluetooth</i> com a estação base .....	40
Figura 4.5 - Bolsa Kalenji.....	41
Figura 4.6 – Bolsa Estanque Aquapac.....	42
Figura 4.7 - ECG instalado no corpo do Atleta .....	42
Figura 4.8 – Algoritmo para análise do sinal de ECG .....	43
Figura 4.9 - Oscilação da <i>Baseline</i> (Sornmo & Laguna, 2006).....	44
Figura 4.10 - Sinal ECG BITalino(Silva, et al., 2014).....	46
Figura 4.11 – Algoritmo para análise do sinal do Acelerómetro .....	47
Figura 5.1 - Máquina de Simulação de Braçadas .....	53

Figura 5.2 – Ritmo cardíaco do Atleta 1 .....	55
Figura 5.3 – Dados ECG da 1ª Fase de testes a seco .....	56
Figura 5.4 – Dados ECG antes da fase de pré-processamento .....	57
Figura 5.5 – Dados ECG depois da fase de pré-processamento .....	57
Figura 5.6 – Braçadas do Atleta 1 na máquina de simulação .....	58
Figura 5.7 – Localização do sistema no corpo do atleta .....	59
Figura 5.8 – <i>Smartphone</i> incorporado na bolsa estanque .....	60
Figura 5.9 – Perfil de aceleração da técnica de mariposa do Atleta 1 .....	61
Figura 5.10 – Perfil de aceleração da técnica de bruços do Atleta 1 .....	62
Figura 5.11 - Perfil de aceleração da técnica de costas do Atleta 1 .....	62
Figura 5.12 - Perfil de aceleração da técnica de <i>crawl</i> do Atleta 1 .....	63

## Lista de Tabelas

Tabela 3.1 – Técnicas de Natação (Figueiredo, 2010) .....	14
Tabela 3.2 – Indicadores de Desempenho .....	17
Tabela 3.3 – Sensores e Respetivos Indicadores de Desempenho .....	19
Tabela 3.4 – Níveis de Atividade Física (Polar, 2013) .....	21
Tabela 3.5 – Localização dos Sistemas no Corpo do Atleta .....	22
Tabela 3.6 – Qualidade da Informação em Função da Colocação do Sistema no Corpo do Atleta (Adaptado de Pansiot, et al. (2010)) .....	22
Tabela 3.7 – Resumo dos Sistemas e Produtos .....	33
Tabela 4.1 – Versões do BITalino (Silva, et al., 2014) .....	36
Tabela 4.2 – Especificações do protótipo usando um BITalino .....	41
Tabela 4.3 – Valores Máximos e Mínimos da Frequência de Braçadas .....	49

## **Lista de Abreviaturas**

ECG – Eletrocardiografia

EDA – Atividade Eletrodermica

EMG – Eletromiografia

FINA – Federation Internationale de Natatione

FPN – Federação Portuguesa de Natação

PDP – Processo de Desenvolvimento do Produto

VOP – Variação da Onda de Pulso

## Capítulo 1 - Introdução

---

### 1.1. Contextualização

No desporto, a monitorização e análise do desempenho têm um papel fundamental no desenvolvimento de atletas pois permite avaliar informação importante e necessária à otimização do rendimento do atleta e à prevenção de eventuais lesões (Hagem, et al., 2013). No caso da natação, possibilita ainda aos nadadores competirem na sua melhor forma física (Callaway, et al., 2009).

Sendo a natação um desporto que requer um conjunto de competências técnicas e a execução de movimentos específicos, os quais definem o desempenho global do atleta (Slawson, et al., 2008), a evolução deste desempenho depende fortemente do aperfeiçoamento da sua técnica (Bachlin, et al., 2009; Hagem, et al., 2013). Neste contexto, o treinador tem um papel crucial no planeamento de um treino adequado a cada um dos atletas, estando presente diariamente para ajudá-lo na melhoria das suas competências técnicas e pessoais (USA Swimming, 2010).

Com a crescente competitividade entre atletas, o uso da tecnologia como ferramenta de apoio à melhoria da técnica, através da análise detalhada de indicadores de desempenho, tem ganhado um papel importante no treino de um atleta de alta competição (Slawson, et al., 2008; Pansiot, et al., 2010). Na verdade, estas ferramentas de análise têm o potencial de dar informação útil e complementar ao conhecimento que o treinador consegue adquirir individualmente e, assim, aumentar o *feedback* no desenvolvimento dos atletas (Slawson, et al., 2008).

Tradicionalmente, a avaliação quantitativa do desempenho em natação era obtida manualmente (Davey, et al., 2008) e/ou através da análise de vídeo (Slawson, et al., 2008; Callaway, et al., 2009; Sage, et al., 2010). No entanto, com a rápida evolução da tecnologia aplicada à monitorização do desporto (Slawson, et al., 2008), nos últimos anos foram desenvolvidos sensores de pequenas dimensões, como acelerómetros e giroscópios, que são fixados ao nadador para recolher dados sobre o seu desempenho (Callaway, et al., 2009). Com efeito, os nadadores estão cada vez mais recetivos à utilização da tecnologia de modo a melhorar o seu desempenho (Hagem, et al., 2013).

Adicionalmente, a utilização destes sensores na natação permite reduzir a necessidade do treinador retirar dados manualmente, possibilitando assim que se dedique a corrigir aspetos mais técnicos do desempenho do nadador (Davey, et al., 2008; Bachlin, et al., 2009). Porém, atualmente, a maioria dos sistemas de análise requer o processamento de informação após a atividade física (Hagem, et al., 2013), isto é, a informação só é analisada depois da sessão de treino. Por esta razão, existe uma lacuna na monitorização do desempenho em tempo real (Chakravorti, et al., 2013). Na verdade, a prática corrente na medição dos parâmetros de desempenho dos atletas requer uma forte interação humana, por vezes especializada, com o recurso a vários equipamentos isolados e independentes (Chakravorti, et al., 2013).

É com o intuito de ultrapassar essa barreira que a presente Dissertação de Mestrado é realizada. Assim, aproveitando o âmbito do desenvolvimento de projetos com a cooperação de diferentes

departamentos do Instituto Superior Técnico surgiu a oportunidade de integrar o Projeto BITalino. Neste contexto e numa perspetiva da gestão do desenvolvimento do produto, o dispositivo BITalino é utilizado como protótipo, o qual será explorado com o intuito de desenvolver um sistema de monitorização em tempo real que auxilie o treinador durante as sessões de treino e, porventura, até aumentar a sua potencialidade e aplicação no mercado, através da sua integração em ambiente desportivo.

## **1.2. Objetivos da Dissertação**

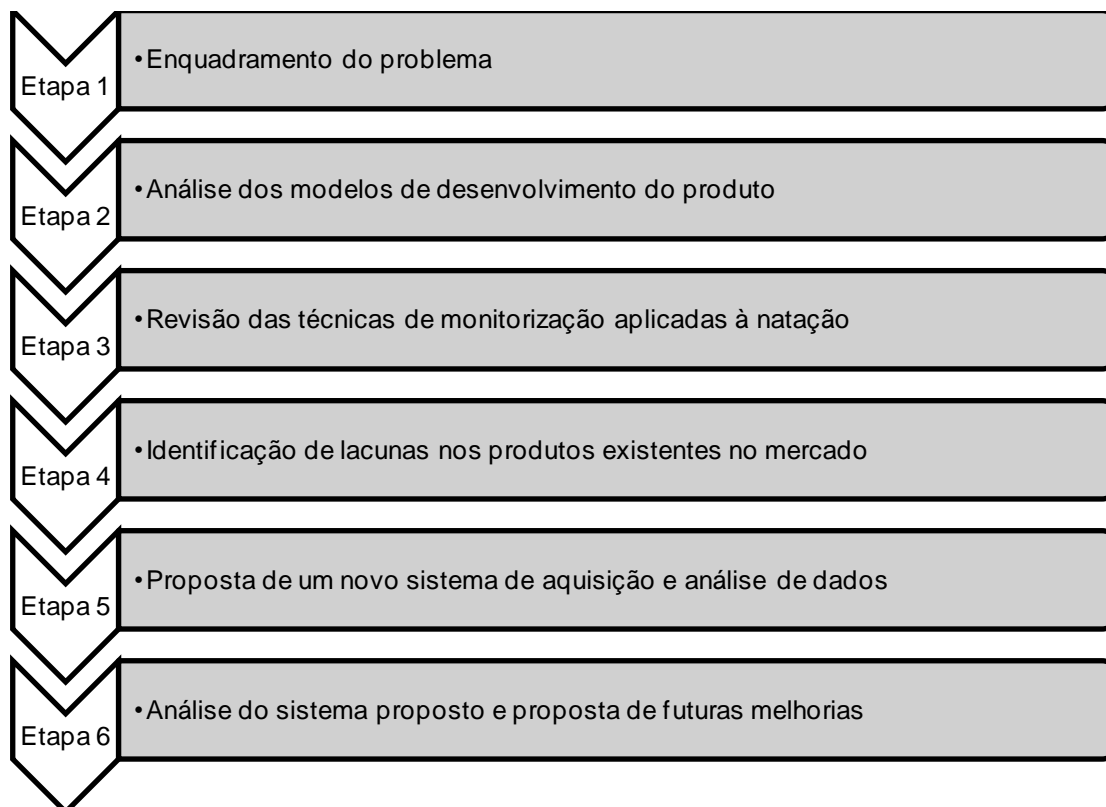
O principal objetivo da presente Dissertação de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial é aplicar uma análise do processo de desenvolvimento de um novo produto ao desenvolvimento de um sistema em ambiente desportivo e, conseqüentemente, explorar um protótipo que permita a aquisição de sinais biológicos para a monitorização de parâmetros de desempenho em natação.

Neste sentido são expostos, numa perspetiva teórica, os principais métodos do desenvolvimento do produto e realizar uma breve explicação dos mesmos. Como seguimento desta primeira análise, e com maior relevância no contexto desta Dissertação, ocorre a necessidade de realizar um levantamento das técnicas de monitorização de desempenho atualmente existentes e, conseqüentemente, dos produtos e sistemas desenvolvidos até à data. Estes dois pontos de análise são realizados com a finalidade última de identificar eventuais carências nos produtos já existentes e, eventualmente, torná-las em oportunidades de negócio para um novo produto.

Em última instância e de acordo com o processo de desenvolvimento de um novo produto, é proposto um novo sistema de monitorização da atividade desportiva que satisfaça uma possível lacuna no mercado atual, produzir um protótipo do respetivo sistema e, por último, testar as capacidades do dispositivo em natação.

## **1.3. Metodologia**

De acordo com os objetivos apresentados anteriormente, a presente secção esclarece a metodologia utilizada ao longo da Dissertação. Assim, esta metodologia apresenta seis etapas fundamentais que podem ser visualizadas de forma ordenada na Figura 1.1.



**Figura 1.1 – Metodologia da Dissertação**

Na primeira etapa é contextualizada e clarificada a necessidade existente no mercado, a qual justifica a elaboração de um novo sistema de aquisição e análise de sinais desportivos aplicado à nataçã. A segunda etapa visa estudar alguns dos modelos mais conhecidos e aplicados no desenvolvimento de um novo produto, considerando várias alternativas a um modelo genérico. De seguida, é realizada uma revisão da literatura no que respeita a técnicas de monitorização do desempenho de atletas em nataçã. Na quarta etapa são analisados os produtos de monitorização já existentes no mercado e identificadas eventuais lacunas com vista a propor uma nova soluçã que satisfaça as necessidades do mercado. Neste contexto, é nas etapas seguintes que se apresenta e analisa uma proposta para um novo sistema de aquisição e análise de dados.

#### **1.4. Estrutura da Dissertação**

A presente Dissertação está dividida em seis capítulos principais, a saber:

- O Capítulo 1 inicia-se com a contextualizaçã e caracterizaçã dos atuais sistemas de monitorizaçã aplicados à nataçã. Inclui igualmente a definiçã dos objetivos da presente Dissertaçã e clarifica nã sã a metodologia utilizada, como tambẽm a estrutura da mesma.
- Ao longo do Capítulo 2 sã analisados os processos do desenvolvimento do produto mais utilizados no mundo empresarial, bem como algumas das suas vertentes. Este capítulo descreve tambẽm as etapas de uma abordagem genérica à conceçã de um novo produto.
- No Capítulo 3 sã expostos alguns dos conceitos fundamentais ao bom conhecimento das técnicas de monitorizaçã aplicadas à nataçã. Começa por se definir a nataçã enquanto

desporto de competição e o papel de um treinador no desenvolvimento e melhoria de atletas. Segue-se a identificação dos indicadores mais utilizados na avaliação do desempenho de nadadores e os respetivos sensores necessários à sua aquisição e análise. Este capítulo compreende ainda uma análise aos possíveis locais para a colocação desses sensores no corpo do atleta e termina com o estudo não só dos sistemas de monitorização desenvolvidos a partir de investigações académicas, como também dos principais produtos comercializados hoje em dia.

- Segue-se o Capítulo 4 onde é descrito e exposto o sistema proposto para satisfazer as necessidades do mercado identificadas a partir da análise realizada no Capítulo 3. Antes de uma análise aprofundada do sistema proposto, numa primeira fase é exposta a plataforma de desenvolvimento do protótipo, o BITalino, onde são evidenciadas as suas componentes e respetivo modo de funcionamento. Segue-se a descrição pormenorizada do sistema proposto no presente trabalho. Ainda no Capítulo 4, e em seguimento da descrição realizada ao sistema proposto, é analisado todo o sistema de tratamento de dados com o objetivo de obter informação útil ao treinador.
- De seguida, o Capítulo 5 expõe as várias fases de testes realizados ao protótipo, bem como os resultados obtidos em cada um deles.
- Por último, o Capítulo 6 incide sobre as principais conclusões a retirar desta Dissertação.



## Capítulo 2 - Desenvolvimento do Produto

---

Neste capítulo são apresentadas as abordagens existentes na literatura para o desenvolvimento de um novo produto. Na Secção 2.1 é desenvolvida uma breve introdução ao tema. Na Secção 2.2 é exposto o processo genérico de desenvolvimento de um novo produto. De seguida, na Secção 2.3 são explicitadas as principais etapas subjacentes ao modelo genérico. Posteriormente, na Secção 2.4 são apresentadas algumas vertentes mais específicas desse processo. Por último, na Secção 2.5 é feita uma sumarização das principais ideias a reter.

### 2.1. Introdução

A inovação em produtos tem sido fortemente considerada como um componente chave para um sucesso sustentável das empresas (Henard & Szymanski, 2001). Inovação é o processo através do qual se acrescenta ao mercado novos produtos ou serviços, sendo por isso responsável pelo aumento da qualidade dos mesmos e, frequentemente, pela diminuição dos seus preços. Ao introduzir novas soluções, a inovação conduz à eliminação, modificação ou criação de mercados (Hauser, et al., 2006). É portanto uma oportunidade para as empresas entrarem ou se instalarem num determinado mercado.

Mesmo para um produto já existente no mercado, o processo de inovação está continuamente presente devido ao aparecimento de novas oportunidades e ideias para melhorias desse mesmo produto. Neste contexto, reconhece-se que as empresas podem obter maior sucesso se considerarem esta possibilidade no conjunto dos conceitos de produto e, assim, formarem um portefólio de produtos, no qual são consideradas diversas hipóteses e ideias para o desenvolvimento de um novo produto (Hauser, et al., 2006).

De forma a melhor gerir todo o processo de inovação, geralmente, as empresas utilizam procedimentos formais, i.e., Processos de Desenvolvimento do Produto (PDP), que têm como objetivo transformar pequenas oportunidades de negócio em produtos de sucesso (Cooper, 2008). De todos os modelos aplicáveis, distingue-se o mais genérico, o do Funil do Desenvolvimento do Produto (*Product Development Funnel*) que considera uma visão geral de todo o processo de desenvolvimento do produto. No entanto, e dependendo da empresa ou mercado em questão, este processo genérico pode ser abordado segundo diferentes perspetivas, levando assim à criação de diversos modelos (Hauser, et al., 2006). A secção seguinte descreve o Modelo do Funil do Desenvolvimento do Produto, como um processo genérico.

### 2.2. Modelo do Funil do Desenvolvimento do Produto

A metodologia de desenvolvimento de um novo produto tem como perspetiva mais comum a de um processo *end-to-end*. Esta perspetiva tem subjacente a participação de uma equipa multidisciplinar, uma vez que depende da interação de vários departamentos numa empresa, incluindo frequentemente os seguintes: marketing, engenharia, produção e gestão organizacional (Hauser, et al., 2006). Este processo pode ser representado pelo designado Funil do Desenvolvimento do Produto (*Product Development Funnel*), visível na Figura 2.1.

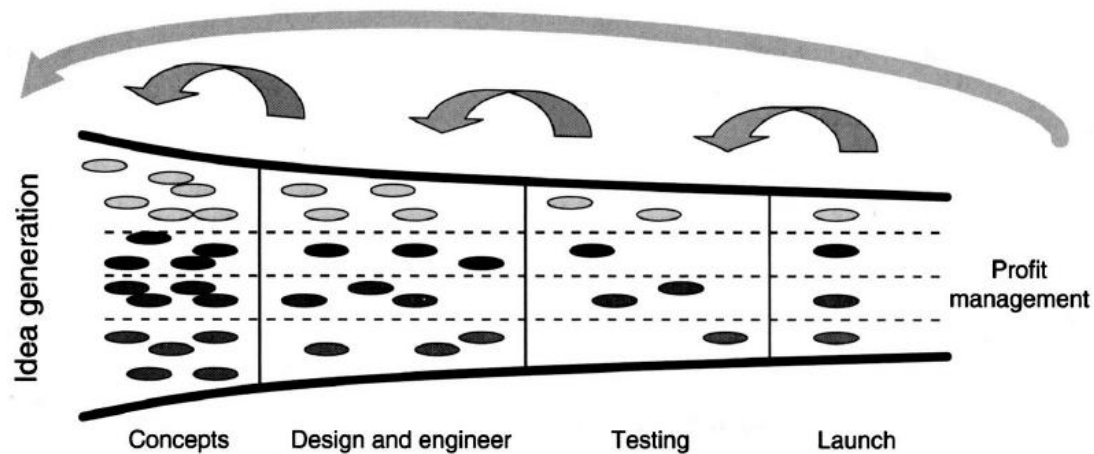


Figura 2.1 – Funil do Desenvolvimento do Produto (Hauser, et al., 2006)

O Modelo do Funil do Desenvolvimento do Produto, assim designado por visualmente apresentar a forma de um funil, compreende no início todas as ideias ou conceitos (*concepts*) de produto resultantes das oportunidades encontradas e desenvolvidas pela empresa que, por sua vez, são documentadas no seu portefólio de projetos. Uma vez que existem limitações de recursos, algumas dessas ideias não passam para a fase de conceção e desenvolvimento (*design and engineer*). Assim, as ideias que são suficientemente sustentáveis para futuro desenvolvimento e que se poderão tornar protótipos são sujeitas a uma nova filtragem, onde apenas alguns dos modelos passam para a fase de testes (*testing*). Por último, segue-se a fase de lançamento no mercado (*launch*), apenas efetuada para as melhores ideias, isto é, as mais promissoras no mercado. Este modelo considera ainda um processo de *feedback*, assente na constante análise e reavaliação das ideias em cada uma das fases, permitindo assim que estas sejam repensadas, melhoradas ou até recicladas (Hauser, et al., 2006). Deste modo, a representação do processo de desenvolvimento do produto neste modelo em forma de funil tem em consideração que nem todas as ideias têm de alcançar a fase de conceção ou de testes e que se deve dar prioridade às mais promissoras (Clark & Wheelwright, 1993).

É de notar que o processo de desenvolvimento do produto deve ser flexível e adaptar-se às necessidades e natureza de uma empresa. Por esta razão, não deve ser um método burocrático que exija a elaboração impreterível de relatórios exaustivos de todas as etapas (Cooper, 1993). No entanto, todas as etapas devem ter associado um registo para um melhor controlo de todo o processo.

O principal benefício da utilização de um PDP é a possibilidade de redução de eventuais riscos associados ao desenvolvimento do produto. Estes riscos devem ser constantemente monitorizados e geridos ao longo de todo o processo, com vista a aumentar a probabilidade de sucesso do resultado final. Assim, desde a criação da ideia até ao lançamento do produto, é indispensável um bom conhecimento do meio envolvente do produto e de todos os fatores internos e externos associados, de forma a melhor responder às pressões tecnológicas e de concorrência do mercado onde se insere (Cooper, 1993).

Neste sentido, ainda que muitas empresas tenham um bom planeamento das atividades necessárias ao lançamento de um novo produto com sucesso, durante o PDP, estas podem ser afectadas negativamente por vários fatores que podem levar a uma desadequada execução desse processo, a saber (Cooper, 2008):

- Não execução de algumas atividades ao longo do processo;
- Fraca liderança;
- Baixa qualidade de execução;
- Informação errónea;
- Incumprimento de prazos.

Ainda assim, a implementação de qualquer PDP garante a progressão de uma oportunidade de negócio desde a sua fase de idealização até ao lançamento de um produto de sucesso, satisfazendo uma necessidade do mercado em que se insere (Koen, et al., 2002).

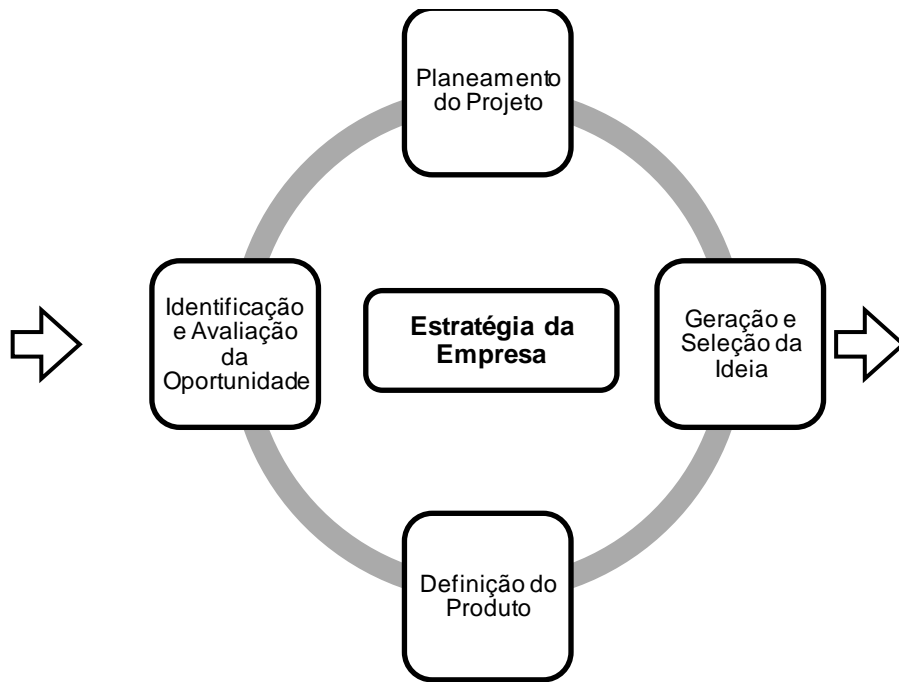
### **2.3. Etapas Genéricas**

O processo de desenvolvimento de um novo produto compreende diversas etapas que, embora já tenham sido referidas de forma sucinta anteriormente, são de seguida explicitadas com maior detalhe. Estas etapas estão subjacentes em qualquer modelo, podendo contudo ser-lhes dada maior ou menor importância, serem executadas sequencialmente ou em paralelo e com maior ou menor rapidez (Hauser, et al., 2006).

#### **2.3.1. Fuzzy Front-End**

O *Fuzzy Front-End* é caracterizado como o início do PDP. Nesta fase, a empresa formula todas as ideias e conceitos de produto que justificam um futuro investimento. Um dos mais importantes e difíceis desafios da gestão da inovação de uma empresa é orientar a fase *Fuzzy Front-End* com sucesso e de forma eficaz (Kim & Wilemon, 2002) pois, conceptualmente, as decisões tomadas nesta etapa têm uma grande influência no sucesso do produto. Na verdade, é durante esta primeira fase que as empresas podem encontrar a melhor oportunidade de negócio e/ou a melhor inovação tecnológica de forma a melhor satisfazer as necessidades dos consumidores (Hauser, et al., 2006).

Tipicamente, este processo inicia-se quando é identificada uma oportunidade merecedora de investigação, análise e, conseqüente, idealização e, termina quando se decide investir na ideia ou conceito criado. Deste modo, o *Fuzzy Front-End* inclui as sub-etapas identificadas na Figura 2.2.



**Figura 2.2 – Etapas Fuzzy Front-End (Adaptado de (Kim & Wilemon, 2002) e de Koen, et al.,(2002))**

É de notar que qualquer uma das ideias de produto deve estar de acordo com a estratégia de negócio da empresa.

### **2.3.2. Conceção**

A etapa anterior permite identificar um mercado atrativo e gerar um conjunto de ideias de produto com grande potencial de sucesso. Esse processo passa por encontrar uma necessidade do mercado, a qual pode surgir de uma nova tecnologia, de um conjunto de necessidades específicas dos consumidores ou até mesmo de uma combinação dos mesmos. Cabe à equipa de conceção do produto posicionar essas ideias de acordo com as necessidades e características do mercado. Neste contexto, o marketing tem um papel fundamental ao desenvolver e implementar ferramentas que ajudam durante a fase de conceção de novos produtos e a sua fase de testes. Estas ferramentas de marketing podem variar desde a realização de um estudo das perceções e preferências dos consumidores, um processo de posicionamento e segmentação do produto ou, até mesmo, previsões da entrada do mesmo no mercado (Hauser, et al., 2006).

É de notar que os consumidores estão dispostos a sacrificar algumas características de desempenho por outras que valorizem mais. A título de exemplo, os consumidores podem estar dispostos a prejudicar a rapidez do computador pela sua facilidade de utilização. Assim, para muitas categorias de produto este pressuposto é aceitável e permite adicionar valor ao produto e assim aumentar o seu potencial sucesso (Hauser, et al., 2006).

De forma a salvaguardar investimentos desnecessários, as empresas estudam cada vez mais as necessidades dos seus clientes durante a fase de conceção do produto, bem como antes de passar à fase dos testes, com recurso a bons métodos de pesquisa de informação e com maior número de alternativas às diferentes características dos produtos.

### **2.3.3. Testes e Avaliação**

Durante todo o PDP os produtos desenvolvidos devem ser testados antes do seu lançamento no mercado pois a avaliação dos diferentes conceitos do produto e das várias soluções encontradas continua a acrescentar valor a este, mesmo após a sua conceção. Métodos como a previsão pré-lançamento, aceleração da informação e testes de mercado, proporcionam às equipas de desenvolvimento do produto a capacidade de avaliar de forma eficaz a fase de conceção (Hauser, et al., 2006).

O modelo presentemente descrito na secção 2.3 representa genericamente todo o processo de desenvolvimento do produto. No entanto, existem abordagens que, não deixando de seguir o modelo genérico, são mais concretas e adequadas a determinados casos, as quais se descrevem na secção seguinte.

## **2.4. Processos do Desenvolvimento do Produto**

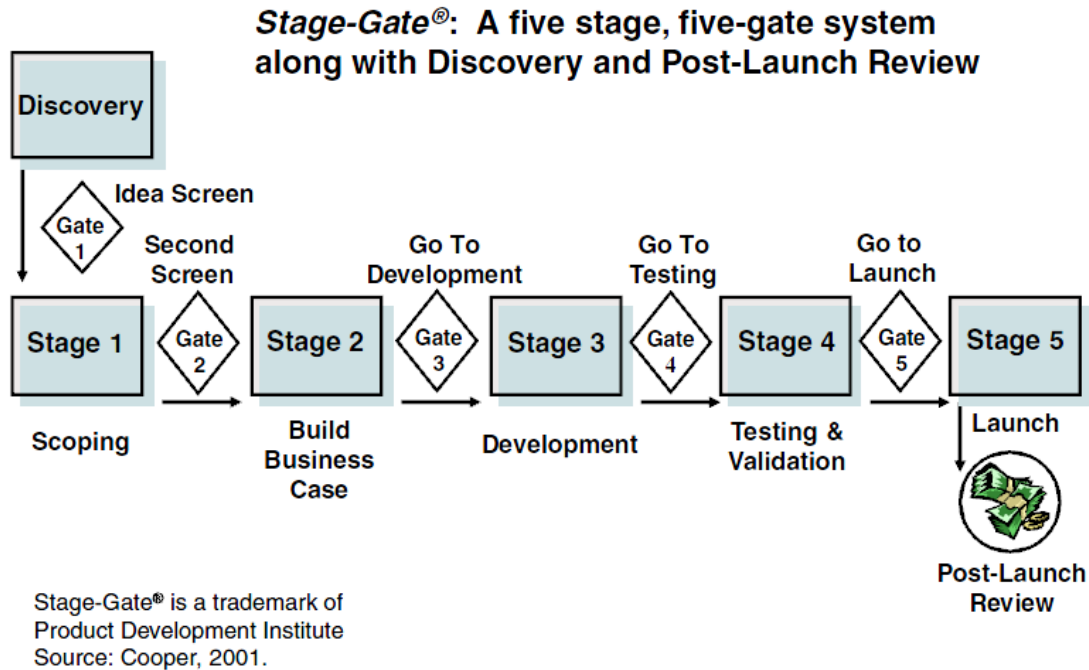
Nesta secção são analisados alguns dos Processos do Desenvolvimento do Produto mais utilizados. A aplicação destes processos depende do ramo da empresa, da natureza do produto em questão ou até mesmo do objetivo da sua conceção (Hauser, et al., 2006).

### **2.4.1. Stage-Gate Process**

Na década de oitenta, uma pesquisa sobre os métodos utilizados pelas empresas no processo de desenvolvimento do produto permitiu observar que existia a necessidade da conceptualização de um bom modelo. Este deveria não só servir de guia aos gestores de projetos, contribuindo com informações específicas do produto ao longo do seu desenvolvimento, como também, ser baseado no contexto do mercado onde o produto se insere. Verificou-se que um bom modelo deveria ser multidisciplinar e exigir uma forte comunicação entre os departamentos da empresa. Foi neste sentido que surgiu a primeira versão do *Stage-Gate Process* (Cooper, 1983).

O *Stage-Gate Process* define-se como uma ferramenta conceptual e operacional que permite auxiliar no projeto de desenvolvimento de um novo produto, desde a sua ideia ao lançamento do mesmo no mercado. A utilização deste processo visa melhorar a eficiência e eficácia da gestão do desenvolvimento do produto, ao explicitar as etapas a serem realizadas neste processo, bem como a melhor forma das mesmas serem executadas (Cooper, 2008).

Assim, de uma forma simples, o processo *Stage-Gate* é composto por um conjunto de estágios (*stages*) intercalados por pontos de decisão (*gates*). Nos primeiros, é realizado um conjunto de atividades para completar o trabalho necessário, obtida a respetiva informação e são integrados e analisados os dados provenientes de estágios anteriores. Por outro lado, os *gates* dizem respeito a pontos de tomada de decisão “aceitar/rejeitar” que ponderam a continuação do investimento no projeto. A Figura 2.3 identifica os vários estágios e pontos de decisão que podem ser considerados no PDP, segundo a perspetiva do *Stage-Gate Process*.



**Figura 2.3 – Stage-Gate Process (Cooper, 2008)**

O PDP começa, geralmente, a partir de uma ideia de produto ou serviço que visa responder a uma necessidade identificada no mercado e que tem potencial para ser desenvolvida (Koen, et al., 2002). Segue-se o primeiro ponto de decisão no qual se estuda a viabilidade da ideia e o seu potencial em produto ou serviço no mercado, iniciando assim, oficialmente, o projeto de desenvolvimento do produto. Mediante a aprovação deste último, surge a primeira etapa, onde é definido o âmbito do projeto, analisadas as suas características técnicas, algumas variáveis como o tempo e custo de produção, e é feita uma avaliação preliminar do mercado com o objetivo de determinar a sua dimensão e o potencial do produto (Cooper, 1993).

Após a primeira etapa, surge um segundo ponto de decisão onde são analisadas questões como a força de vendas e a reação dos consumidores ao produto. Posteriormente, a segunda etapa define-se por um estudo mais detalhado do produto, que visa aprofundar, entre outros, a análise de mercado, económica, estratégica, de aspetos tecnológicos do produto e, assim, construir um *business case*. Este *business case* deve portanto incluir elementos como a definição do mercado-alvo, a descrição dos benefícios e a definição da estratégia de posicionamento do produto. Deve ainda ser concebido de acordo com a definição do produto e o respetivo plano de desenvolvimento do projeto (Cooper, 1993).

O terceiro ponto de decisão recai sobre a avaliação do caso de estudo desenvolvido anteriormente e antecede a fase de desenvolvimento do produto em si que, ao representar o maior investimento de todo o processo, exige uma avaliação financeira detalhada. Sendo realizada e aprovada essa avaliação, segue-se então a terceira etapa, relativa ao desenvolvimento físico do produto, i.e., o protótipo. Durante esta etapa, a atividade de produção deve ser realizada em simultâneo com o

marketing, o qual deve garantir a incorporação do *feedback* dos consumidores na conceção do produto.

O quarto ponto de decisão diz respeito à revisão pós-desenvolvimento onde é analisado o progresso do desenvolvimento técnico do produto e a sua atratividade no mercado. A este ponto de decisão segue-se a quarta etapa onde se realizam os testes e a validação do projeto. Os testes são realizados não só ao próprio produto, como também ao processo de produção, à aceitação do produto pelos consumidores e ainda à parte financeira do projeto.

O quinto e último ponto de decisão caracteriza-se pela análise de negócio antes do lançamento do produto no mercado. É neste momento que é tomada a decisão de iniciar a produção em escala industrial e a comercialização do produto. Com esta avaliação aprovada, inicia-se a quinta e última fase, relativa à fase de produção e lançamento do produto. Após o lançamento do produto, este processo termina com uma fase de avaliação pós-lançamento onde é revisto o desempenho do produto e de todo o projeto (Cooper, 1993).

A utilização de um processo formal como o *Stage-Gate* acarreta diversos benefícios, entre os quais se destacam o aumento de probabilidade do sucesso de um produto no mercado e a otimização de recursos durante o PDP (Griffin, 1997). Adicionalmente, ao ser um processo simples e de fácil leitura, é aplicável a qualquer empresa.

#### **2.4.2. Spiral Process e Overlapping Stages**

O *Spiral Process* é um processo alternativo, no qual a equipa de desenvolvimento do produto passa rapidamente pelas várias etapas desse processo, desde a etapa de análise de oportunidades até à fase de desenvolvimento e testes do protótipo. Tem subjacente a ideia de rapidez na execução do processo com menores custos, ao mesmo tempo que garante à equipa o *feedback* técnico e de mercado rápida e frequentemente (Hauser, et al., 2006).

Este é um sistema que inclui mais etapas de *feedback* que o processo anteriormente apresentado sendo estas repetidas as vezes necessárias até que o produto seja concluído com sucesso, nunca esquecendo o foco na rapidez. Por esta razão, é adequado ao desenvolvimento de *software* e de produtos de rápida evolução no mercado.

Em alternativa, o processo de *Overlapping Stages* é semelhante ao *Spiral Process*, focando-se numa maior velocidade e rapidez do processo, podendo neste caso existir sobreposição na execução das diferentes etapas. A título de exemplo, a conceção do produto pode começar antes da conclusão da etapa da geração da ideia ou, até mesmo, a atividade de execução de testes pode começar antes da conclusão da sua conceção. Porém, este é mais adequado a produtos com mais requisitos técnicos e que exigem uma maior continuidade ao longo do processo de desenvolvimento.

### **2.5. Conclusão**

Neste capítulo foram analisados os diferentes modelos que descrevem o PDP segundo diferentes perspetivas. Em primeiro lugar, foi apresentado o Modelo de Funil de Desenvolvimento do Produto o qual é identificado, segundo a literatura, como o modelo mais genérico para o desenvolvimento de um

novo produto. Este modelo consiste na execução de três fases genéricas as quais descrevem a evolução de uma ideia ou oportunidade que é identificada e explorada de modo que, caso a mesma seja promissora, é posteriormente desenvolvida e transformada num novo produto. Para além disso, foram apresentadas as principais etapas genéricas, existentes em qualquer PDP. Destas destaca-se a primeira etapa, designada *Fuzzy Front-end*, que é responsável pela identificação das oportunidades e geração das ideias, pelo que tem um grande peso no processo ao ser uma das condicionantes para um potencial sucesso de novos produtos no mercado.

Das vertentes do modelo genérico do desenvolvimento do produto distingue-se o *Stage-Gate Process* que, devido à sua flexibilidade e adaptabilidade, é aplicável a grande parte deste tipo de projetos nas empresas. Alternativamente, pode ser aplicado o *Spiral Process* no caso de preferência pela rapidez na execução do processo pois passa rapidamente pelas várias etapas do mesmo. Ainda assim, no presente trabalho optou-se por, de uma maneira geral, seguir o modelo genérico por ser um processo que na prática exige uma equipa multidisciplinar que não está contemplada neste projeto.

No contexto deste processo, em particular da etapa inicial do PDP, o próximo capítulo tem como objetivo dar a conhecer conceitos e sistemas indispensáveis ao bom conhecimento da monitorização da atividade da nataçã o enquanto desporto e, através de tal informação, procurar eventuais carências neste mercado, de forma a identificar oportunidades de negócio.



## Capítulo 3 - Monitorização do Desempenho do Atleta na Natação

---

Neste capítulo não só apresenta diversos conceitos indispensáveis à compreensão das técnicas de monitorização do desempenho de atletas em natação, como também analisa alguns dos sistemas atualmente existentes. Deste modo, na Secção 3.1 é realizada uma breve introdução e contextualização ao tema em que se insere o presente capítulo. De seguida, na Secção 3.2, é feita uma descrição técnica da Natação enquanto desporto de competição e caracterizado o papel de um treinado nesta modalidade desportiva. No seguimento desta, são expostos na Secção 3.3, de forma objetiva, os indicadores de desempenho mais utilizados nos sistemas de monitorização. Na Secção 3.4, são identificados alguns sensores utilizados para a recolha dos dados relativos ao desempenho do atleta. Posteriormente, na Secção 3.5 são estudados possíveis locais para a colocação dos sistemas no corpo do atleta e analisada a respetiva contribuição para a qualidade da informação recolhida. Seguidamente, a Secção 3.6 analisa detalhadamente o funcionamento de vários sistemas e produtos desenvolvidos até hoje. Finalmente, a Secção 3.7 faz um resumo da revisão bibliográfica realizada neste capítulo.

### 3.1. Introdução

O desempenho de um nadador está fortemente relacionado com a sua técnica, portanto um nadador que queira melhorar os seus resultados em competições deve dedicar uma parte substancial do seu treino à melhoria dessa técnica. Contudo, um nadador além de se concentrar na correta execução dos movimentos, tem de dar extrema importância à sua respiração e aplicação da força na água, pelo que se torna difícil avaliar o seu próprio desempenho (Bachlin, et al., 2009).

Neste contexto, é de extrema importância a presença de um treinador na monitorização e avaliação do atleta, sendo que este deve ser capaz de o ajudar em diversas competências (USA Swimming, 2010). No entanto, o treinador não consegue avaliar com rigor a técnica de um nadador, enquanto se concentra em retirar manualmente parâmetros de desempenho, como o tempo de volta ou o número de braçadas, de vários atletas (Davey, et al., 2008; Bachlin, et al., 2009). Deste modo, a utilização de sistemas de monitorização e análise do desempenho pode ser vantajosa uma vez que estes têm como objetivo adquirir informação indispensável à avaliação do atleta, servindo assim como complemento ao conhecimento e *feedback* do treinador (Slawson, et al., 2008).

Neste capítulo são analisados os sistemas de monitorização atualmente existentes, de acordo com as diferentes características neles presentes e segundo diferentes abordagens, respondendo assim às questões “O quê” ao identificar os vários indicadores de desempenho, “Como” estudando os sensores usados na aquisição de dados, “Onde” analisando a colocação dos respetivos sensores no corpo do atleta e “Para quê”, olhando com maior detalhe para as diversas funcionalidades de cada um deles.

A exploração destas características e respetiva implementação num só sistema podem levar ao desenvolvimento de um novo produto que satisfaça uma necessidade atualmente existente no mercado, nomeadamente, a de uma avaliação mais objetiva e prática quer para o treinador quer para o atleta.

### 3.2. A Natação e o Papel do Treinador

A natação é um desporto praticado pelo Homem há milhares de anos. No entanto, antes de 1908 a natação, como desporto, não contava com a padronização de regras, estruturas, distâncias ou condições sobre as quais se pudessem realizar competições ou registar *records*, era apenas uma atividade de lazer realizada pelo Homem. A *Federation Internationale de Natation* (FINA) foi fundada com o objetivo de tornar a natação um desporto oficial (Lord, 2008). Em Portugal, a entidade que tem este papel é a Federação Portuguesa de Natação (FPN).

Existem oficialmente quatro técnicas distintas na natação pura desportiva, agora adiante designada por natação, que se distinguem pela simultaneidade e continuidade dos movimentos, havendo técnicas simultâneas ou alternadas e técnicas contínuas ou descontínuas, respetivamente (Figueiredo, 2010):

- *Crawl*;
- Costas;
- Bruços;
- Mariposa.

As técnicas simultâneas caracterizam-se por exigir uma ação simultânea dos membros superiores, ao passo que as técnicas alternadas exigem uma ação alternada dos mesmos. Os movimentos simultâneos dos membros superiores provocam pequenas interrupções que, por sua vez, levam à descontinuidade da ação propulsiva e, por isso, caracterizam as técnicas simultâneas como descontínuas. Da alternância das ações motoras dos membros superiores surge a continuidade, o que caracteriza as técnicas alternadas. Assim, a execução de técnicas alternadas resultam num deslocamento contínuo, ao passo que as simultâneas num deslocamento descontínuo (Figueiredo, 2010). A **Tabela 3.1** apresenta uma descrição mais detalhada de cada técnica.

**Tabela 3.1 – Técnicas de Natação (Figueiredo, 2010)**

<b>Técnica</b>	<b>Descrição</b>
<b><i>Crawl</i></b>	Técnica de nado ventral, alternada e simétrica, na qual as ações motoras realizadas pelos membros superiores e inferiores tentem assegurar uma propulsão contínua.
<b>Costas</b>	Técnica de nado que se assemelha à de <i>crawl</i> em relação ao tipo de movimentos realizados pelos membros inferiores e superiores, mas que se distingue por ser uma técnica dorsal e não ventral.
<b>Bruços</b>	Técnica de nado ventral, simultânea e onde os movimentos dos membros superiores e inferiores devem ser executados ao mesmo tempo e em simetria, pois os membros esquerdos devem traduzir uma imagem espelhada dos membros do lado direito.

**Tabela 3.1 (Continuação) – Técnicas de Natação (Figueiredo, 2010)**

<b>Técnica</b>	<b>Descrição</b>
<b>Mariposa</b>	Técnica de nado ventral, simultânea e descontínua. É descontínua devido às suas características de simultaneidade, pois a execução correta dos movimentos origina fases resistivas e não propulsivas.

Sendo a natação um desporto de competição, os atletas são classificados de acordo com a sua velocidade de execução das diferentes técnicas em diferentes distâncias. A execução correta e rigorosa destas técnicas requer um elevado nível de controlo e aperfeiçoamento das mesmas por parte do nadador. A título de exemplo, a sincronização da rotação das partes inferior e superior do corpo contribuem para a fluidez dos movimentos e, conseqüentemente, para uma maior eficiência na execução dos mesmos. Já a descoordenação das duas partes traduz-se num desequilíbrio e ineficiência dos movimentos do atleta (Bachlin, et al., 2009). Neste sentido, o atleta pode melhorar a sua técnica mediante a avaliação do seu desempenho, a qual pode ser realizada através de diferentes métodos de observação.

### **3.2.1. Métodos de Observação do Nadador**

Segundo Bachlin, et al., (2009), existem três métodos de observação do desempenho de um atleta: (i) percepção própria, (ii) supervisão de um treinador e (iii) análise de vídeo. Todos têm as suas vantagens e desvantagens.

Através da percepção própria, o nadador pode autocorrigir-se instantaneamente percebendo a forma como aplica a força na água, sendo que isto requer experiência por parte do nadador para detetar os seus próprios erros, caso contrário poderá estar a piorar o seu desempenho. A análise de vídeo é o método mais objetivo mas, apesar da sua grande eficácia, não permite uma correção imediata da técnica do nadador, sendo feita sempre depois do exercício praticado na piscina. Já a supervisão direta do treinador é o processo mais usado para a avaliação do nadador e, apesar de apenas permitir a correção de um atleta de cada vez e a visão do treinador ser limitada por dificilmente conseguir observar os movimentos executados debaixo de água, ajuda na correção da técnica do atleta instantaneamente.

É neste contexto que o treinador tem um papel preponderante, ao ajudar igualmente o atleta, entre outros aspetos, na aquisição e coordenação de aptidões físicas e psicológicas necessárias à obtenção de um bom resultado.

### **3.2.2. O Papel do Treinador no Desenvolvimento do Atleta**

O treinador desempenha um papel importante quer no treino quer no próprio desenvolvimento do atleta. Segundo USA Swimming, (2010), os objetivos do treinador devem refletir as suas necessidades, as do nadador e as do programa de treinos. Assim, o treinador deve estar apto para o seguinte:

## **I. Desenvolver capacidades pessoais e sociais**

Um dos maiores benefícios da prática de natação é a aquisição de aptidões pessoais, tais como: espírito de competição, sentido de responsabilidade, ética profissional, disciplina, gestão de tempo, compromisso e lealdade. O treinador representa não só uma figura de referência segundo a qual os atletas se tendem a orientar, pois frequentemente a atitude do treinador perante determinadas situações influencia as reações pessoais e sociais dos atletas perante as mesmas, mas também tem influência na construção da personalidade de um jovem atleta. Deste modo, a importância do treinador passa não só pela figura que ele representa, mas também pelo impacto que as suas ações têm no desenvolvimento do comportamento e caráter dos seus atletas.

## **II. Desenvolver capacidades técnicas**

Grande parte dos jovens nadadores começa a praticar natação para aprender a interagir com o meio aquático, para conhecer os movimentos básicos da natação e para saber como respirar corretamente enquanto nadam. A entrada para a competição exige uma melhoria de algumas capacidades técnicas. É neste contexto que o treinador tem um papel fundamental ao ajudar na adaptação e ensino das competências necessárias a um nadador profissional, dependendo sempre da idade e aptidão natural deste último.

## **III. Disponibilizar um ambiente agradável de treino**

A diversão é uma das principais razões pelas quais os jovens atletas querem praticar natação. Por um lado, esta diversão pode surgir de situações naturais do comportamento humano mas, por outro, pode advir da satisfação de alcançar um dado objetivo devido ao trabalho árduo que é imposto nesta prática desportiva. Neste contexto, o reconhecimento e aprovação por parte do treinador, face aos bons resultados do atleta, originam um acréscimo à satisfação do atleta. Em parte, o treinador é igualmente responsável por estimular um ambiente agradável e divertido nas sessões de treino.

## **IV. Orientar os jovens para a competição**

A decisão pela competição deve estar assente no interesse e gosto por todo o processo de competir e não apenas nas vitórias ou derrotas. Estas resultam de muitos fatores. Os resultados podem provir da maturidade física, das capacidades inatas, da preparação psicológica, do nível de treino e da condição física de cada atleta. Mas, as circunstâncias individuais da competição, tais como a temperatura ou a atribuição de uma pista, também condicionam o resultado. Os nadadores apenas podem ser responsáveis por si e pelos seus comportamentos, não por todos os outros fatores. Neste âmbito, o treinador deve ser capaz de sensibilizar o atleta deste tipo de informação, ajudando-o a estabelecer objetivos e a saber distinguir o sucesso de fracasso.

Assim, o processo de aprendizagem e desenvolvimento das habilidades de natação é um exercício meritório e no qual os treinadores têm um papel crucial. Para que este consiga ajudar o atleta no seu desenvolvimento é fundamental compreender as suas fraquezas e pontos fortes, pelo que o treinador necessita de informação atual e objetiva relativa ao desempenho do seu atleta. Isto exige, para além da utilização de um bom método de observação, a definição de indicadores de desempenho.

Cada um dos métodos apresentados anteriormente pode ser complementado com a utilização de sensores de movimento, ajudando na obtenção de dados sobre o desempenho do atleta. Na Secção 3.6 serão analisados vários dispositivos que utilizam a tecnologia em prol da melhoria da aquisição de informação na natação. Antes disso, será fundamental saber que tipo de informação é útil para treinadores e nadadores, de modo a melhorar o seu desempenho.

### 3.3. Indicadores de Desempenho

Como já referido anteriormente, o desempenho de um nadador está fortemente relacionado com a execução da sua técnica (Bachlin, et al., 2009), a qual pode ser medida segundo determinados parâmetros. Nesta secção são identificados os principais indicadores de desempenho ou parâmetros referenciados na literatura da área com este intuito. A Tabela 3.2 apresenta um conjunto de indicadores de desempenho juntamente com as referências bibliográficas que os mencionam.

**Tabela 3.2 – Indicadores de Desempenho**

<b>Indicadores de Desempenho</b>	<b>Referências</b>
<b>Contagem das Voltas</b>	(Chakravorti, et al., 2013)
<b>Tempo das Voltas</b>	(Davey, et al., 2008), (Bachlin, et al., 2009), (Pansiot, et al., 2010),(Silva, et al., 2012)
<b>Número de Braçadas</b>	(James, et al., 2004),(Davey, et al., 2008)(Bachlin, et al., 2009),(SwimSense, 2013),(Garmin, 2013),(Silva, et al., 2012),(Sage, et al., 2010),(Chakravorti, et al., 2013)
<b>Frequência de Braçada</b>	(Davey, et al., 2008), (SwimSense, 2013), (Garmin, 2013), (Hagem, et al., 2013), (Chakravorti, et al., 2013)
<b>Distância por Braçada</b>	(Khoo, et al., 2009), (Sage, et al., 2010)
<b>Tempo de Braçada</b>	(Khoo, et al., 2009), (Sage, et al., 2010)
<b>Distinção de Fases de Braçadas</b>	(Ohgi, 2002)
<b>Velocidade Angular</b>	(Ohgi, 2002)
<b>Rotação do Corpo</b>	(Bachlin, et al., 2009), (Pansiot, et al., 2010)
<b>Orientação do Corpo</b>	(Bachlin, et al., 2009), (Pansiot, et al., 2010)
<b>Identificação da Técnica</b>	(James, et al., 2004), (Pansiot, et al., 2010), (Garmin, 2013)

**Tabela 3.2 (Continuação) – Indicadores de Desempenho**

<b>Indicadores de Desempenho</b>	<b>Referências</b>
<b>Identificação de Viragens</b>	(James, et al., 2004), (Pansiot, et al., 2010), (Silva, et al., 2012), (Sage, et al., 2010)
<b>Frequência Cardíaca</b>	(Hobeika, et al., 2013)
<b>Distância Percorrida</b>	(SwimSense, 2013), (Garmin, 2013)

Todos estes parâmetros têm como objetivo avaliar o desempenho do atleta, com vista a melhorar a eficiência dos seus movimentos e, conseqüentemente, aumentar a sua velocidade de deslocamento e atingir melhores resultados. Esta eficiência está fortemente relacionada com a resistência da água, a qual pode ser diminuída, por exemplo, através do aperfeiçoamento da orientação e rotação do corpo do atleta.

A orientação do corpo diz respeito ao ângulo que existe entre o corpo do atleta e a superfície da água. Quanto maior este ângulo, menor a eficiência dos movimentos do nadador sendo que para esta última pode contribuir um fraco batimento de pernas, uma fraca tensão do corpo do atleta ou uma incorreta postura da cabeça em relação ao alinhamento da coluna. Por sua vez, a rotação do corpo refere-se ao ângulo de rotação do corpo do atleta em relação ao seu próprio eixo longitudinal. Esta é significativa nas técnicas de *crawl* e de costas, pois uma posição lateral do corpo nestas duas técnicas permite uma maior amplitude do movimento dos braços e traduz-se em menor resistência com a água (Bachlin, et al., 2009). Apesar da importância destes dois indicadores de desempenho, pode-se verificar na Tabela 3.2 que existem apenas dois sistemas que adquirem estes dados. Como será analisado mais à frente, estes dados são obtidos a partir de um giroscópio que pouco é utilizado para a monitorização de nadadores.

Ainda na Tabela 3.2 verifica-se que os indicadores mais analisados são o número de braçadas e, conseqüentemente, a frequência de braçada. Por outro lado, e apesar de ser um indicador de grande relevância, a frequência cardíaca é unicamente medida pelo sistema realizado por Hobeika, et al., (2013). Na próxima secção serão brevemente introduzidos e explicados os diferentes tipos de sensores utilizados na aquisição dos diferentes indicadores.

### **3.4. Sensores Usados na Aquisição de Dados**

Existem vários tipos de sensores responsáveis pela aquisição dos parâmetros utilizados para a monitorização do desempenho. Estes são ferramentas de análise que têm como objetivo complementar o conhecimento do treinador com informação útil sobre o desempenho do atleta e assim melhorar o seu desenvolvimento (Slawson, et al., 2008). A Tabela 3.3 apresenta uma lista de sensores e os respetivos indicadores de desempenho que estes permitem calcular.

**Tabela 3.3 – Sensores e Respetivos Indicadores de Desempenho**

<b>Sensores</b>	<b>Indicadores de Desempenho Adquiridos</b>
<b>Acelerómetro</b>	Contagem das Voltas, Tempo das Voltas, Número de Braçadas, Frequência de Braçada, Distância por Braçada, Tempo de Braçada, Distinção de Fases de Braçadas, Velocidade, Identificação da Técnica, Detecção de Viragens, Distância Percorrida.
<b>Giroscópio</b>	Velocidade Angular, Rotação do Corpo, Orientação do Corpo
<b>Câmara de Vídeo</b>	(Todos os anteriores)
<b>ECG</b>	Frequência Cardíaca

É de notar que para se obterem os indicadores acima referidos através dos diferentes sensores, é necessário um pós-processamento da informação, isto é, é necessária a implementação de cálculos, por vezes complexos, o dificulta a possibilidade de obter todos os indicadores com a precisão pretendida.

#### **3.4.1. Acelerómetro**

O acelerómetro destaca-se dos restantes sensores por permitir adquirir a informação necessária para o cálculo de inúmeros indicadores de desempenho, como indicado na Tabela 3.3. Por esta razão, são muitos os sistemas e produtos que recorrem a este tipo de sensor para a monitorização do desempenho em natação.

De forma a justificar a aplicabilidade dos acelerómetros à análise do desempenho em natação, Davey, et al., (2008) realizaram uma análise à viabilidade dos dados obtidos a partir deste sensor. O principal objetivo deste estudo é provar a capacidade que os acelerómetros têm em adquirir informação com tanta ou mais qualidade e precisão que a obtida manualmente. Para tal, utilizaram o dispositivo ilustrado na Figura 3.1.



**Figura 3.1 – Exemplo de um acelerómetro (Davey, et al., 2008)**

Neste estudo adquiriu-se informação sobre três indicadores de desempenho: o tempo de cada volta, o número de braçadas e o respetivo ritmo de braçada realizado pelo atleta. Estes parâmetros foram obtidos automaticamente, através de um acelerómetro colocado na parte inferior das costas do atleta, e manualmente, com recurso a uma câmara de vídeo. Os dados adquiridos através das duas fontes foram analisados e comparados, tendo-se observado que, apesar de algumas dificuldades no desenvolvimento dos algoritmos para a obtenção da informação, os dados podem ser adquiridos com maior precisão através do acelerómetro do que manualmente.

#### **3.4.2. Análise de Vídeo**

A análise de vídeo é a técnica de avaliação do desempenho da natação mais utilizada porque, para além de ser uma técnica não intrusiva, é facilmente utilizável e permite uma análise detalhada da informação após a atividade. Desta informação destacam-se indicadores de desempenho como o ritmo ou o comprimento da braçada. Tal permite ainda saber características mais específicas do atleta como, por exemplo, o ângulo gerado pelo braço e o ângulo de rotação do corpo (Callaway, et al., 2009).

Porém, a obtenção dos parâmetros através deste método requer a utilização de, pelo menos, duas ou três câmaras posicionadas em locais diferentes e a colocação de marcadores refletivos em diferentes partes do corpo do atleta. Estes marcadores permitem recolher um conjunto de pontos associados à trajetória do elemento do corpo do atleta em estudo (Callaway, et al., 2009).

Para além disso, a aquisição de informação e a respetiva análise são processos que exigem um elevado consumo de tempo, estando ainda a informação sujeita não só a erros de paralaxe, derivados do ângulo de observação (Sage, et al., 2010; Chakravorti, et al., 2013), mas também à incorreta interpretação por parte dos utilizadores devido a perturbações como a turbulência, bolhas de ar e refração da luz na água, caso seja usado um sistema automatizado de análise de imagem (Callaway, et al., 2009).

#### **3.4.3. Eletrocardiografia**

A monitorização do ritmo cardíaco é a maneira mais eficaz de um atleta tirar o maior partido possível do seu treino (Rhodes, 2013). A medição do ritmo cardíaco é normalmente realizada manualmente,



obrigando o nadador a parar a sua atividade física. Assim, um sistema de monitorização que seja capaz de medir o ritmo cardíaco enquanto o atleta executa os seus movimentos é fundamental para um melhor controlo do seu desempenho e, é ainda, vantajoso por autonomizar este processo sem necessidade de intervenção do nadador (Wolfe, 2013).

O sensor responsável pela aquisição dos sinais do sistema cardiovascular dos atletas é designado por Eletrocardiografia (ECG). Estes sinais são posteriormente analisados e o ritmo cardíaco é calculado a partir do número de batimentos realizados pelo coração do atleta durante um minuto. Durante o exercício pode ser utilizada uma escala para medição e classificação da intensidade da atividade física, consoante o número de batimentos cardíacos por minuto. A Tabela 3.4 indica as três classificações da atividade física relativa aos batimentos cardíacos geralmente consideradas.

**Tabela 3.4 – Níveis de Atividade Física (Polar, 2013)**

<b>Intensidade da Atividade Física</b>	<b>Percentagem da Frequência Cardíaca Máxima</b>
<b>Elevada</b>	80 - 90%
<b>Moderada</b>	70 - 80%
<b>Ligeira</b>	60 - 70%

Atualmente, os produtos existentes que permitem medir o batimento cardíaco de um nadador são incorporados num relógio que, em muitos casos, exige a utilização de uma banda peitoral, a qual provoca algum desconforto durante a execução dos movimentos e, não possibilitam ao treinador o controlo instantâneo do seu atleta. Exemplos desses produtos são o Polar FT1, o AquaPulse e o Instabeat, os quais serão analisados mais à frente.

### **3.5. Localização dos Sistemas**

Tradicionalmente, a medição quantitativa do desempenho em natação baseava-se na análise de vídeo. No entanto, e como visto na secção anterior, novas técnicas têm sido utilizadas com o mesmo propósito, nomeadamente com o recurso a sensores em miniatura compostos por acelerómetros e giroscópios, os quais são transportados pelo atleta (Callaway, et al., 2009). Nesta secção são apresentados alguns dos possíveis locais para recolha da colocação dos diversos sistemas no corpo do atleta, bem como analisada a potencialidade de cada um para a obtenção dos diferentes indicadores de desempenho. A Tabela 3.5 apresenta a localização dos respetivos sistemas desenvolvidos em estudos que serão analisados posteriormente.

**Tabela 3.5 – Localização dos Sistemas no Corpo do Atleta**

<b>Colocação no Corpo do Atleta</b>	<b>Referências</b>
<b>Pulso</b>	(Ohgi, 2002), (Bachlin, et al., 2009), (SwimSense, 2013), (Garmin, 2013), (Hagem, et al., 2013),
<b>Cintura/Costas</b>	(James, et al., 2004), (Davey, et al., 2008), (Slawson, et al., 2008), (Sage, et al., 2010), (Chakravorti, et al., 2013), (Silva, et al., 2012), (Polar, 2013)
<b>Cabeça</b>	(Khoo, et al., 2009), (Pansiot, et al., 2010), (Hobeika, et al., 2013), (AquaPulse, 2013)

Pode-se verificar que a parte do corpo onde são mais frequentemente colocados os sistemas de forma a melhor monitorizar o desempenho do atleta é a cintura ou as costas. No entanto, a colocação dos sensores em diferentes locais depende do tipo de informação que se pretende obter, pelo que é importante estudar a qualidade da informação em função da parte do corpo do atleta escolhida para a incorporação do sistema (Pansiot, et al., 2010). Neste contexto, a Tabela 3.6 resume os resultados do estudo realizado por Pansiot, et al., (2010).

**Tabela 3.6 – Qualidade da Informação em Função da Colocação do Sistema no Corpo do Atleta (Adaptado de Pansiot, et al. (2010))**

<b>Indicadores</b>	<b>Cintura/Costas</b>	<b>Cabeça</b>	<b>Pulso</b>
<b>Contagem e Tempo das Voltas</b>	Boa	Boa	Boa
<b>Características Globais da Aceleração</b>	Boa	Boa	Insuficiente
<b>Características das Braçadas</b>	Suficiente	Suficiente	Boa
<b>Rotação do Corpo</b>	Boa	Suficiente	Insuficiente

À semelhança do estudo de Pansiot, et al., (2010) a classificação da qualidade da informação foi efetuada com base numa escala qualitativa de três classes: “Boa”, “Suficiente” e “Insuficiente”. Assim, analisando a Tabela 3.6 pode verificar-se que a informação adquirida a partir de um sensor colocado na cintura ou costas do atleta, de uma forma geral, tem melhor qualidade que a obtida caso seja colocado no pulso. No entanto, caso se queira monitorizar características das braçadas do atleta, a melhor localização do sistema é, naturalmente, no pulso do atleta. É ainda de notar que não existe grande diferença entre a qualidade de informação obtida a partir de um sensor colocado na

cintura/costas ou na cabeça do atleta. A grande diferença existente entre estas duas zonas do corpo está essencialmente na rotação realizada pela cabeça do atleta quando realiza uma respiração nas técnicas de costas e *crawl* (Pansiot, et al., 2010).

### **3.6. Sistemas Desenvolvidos e Produtos Existentes**

A presente secção expõe um conjunto de sistemas de monitorização do desempenho dos nadadores que se distinguem pela sua complexidade e adaptabilidade prática no seu uso. Adicionalmente, são apresentados um conjunto de produtos atualmente existentes e comercializados no mercado com o intuito de monitorizar e avaliar de uma forma fácil o desempenho dos nadadores. Ambos utilizam os sensores e métodos de obtenção de informação apresentados anteriormente.

Assim, por uma questão de organização, decidiu-se classificar estes sistemas de acordo com os equipamentos incorporados, a facilidade de utilização autónoma (*wearable*) e simplicidade que os caracteriza, nos seguintes:

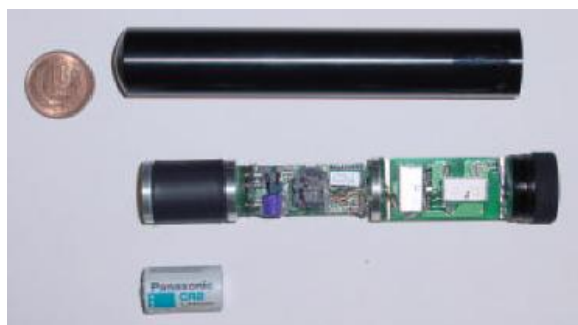
- I. **Sistemas de utilização autónoma (*wearable*)**, incluindo os trabalhos de Ohgi (2002), James, et al., (2004), Davey, et al., (2008), Bachlin, et al., (2009), Pansiot, et al., (2010) e Silva, et al., (2012). Constituem os sistemas desenvolvidos com o objetivo de serem facilmente integrados no dia-a-dia do nadador, sem apresentar características intrusivas aos movimentos naturais do mesmo.
- II. **Sistemas de utilização assistida (*non-wearable*)**. Entre estes encontram-se os estudos de Slawson, et al., (2008), Khoo, et al., (2009), Sage, et al., (2010) e Chakravorti, et al., (2013), que desenvolveram sistemas de monitorização mais complexos, podendo exigir a presença de um ou mais técnicos para a utilização do mesmo.

Por fim, SwimSense (2013), Garmin (2013), Hobeika, et al., (2013) e Polar (2013) dizem respeito a produtos de utilização autónoma por parte do nadador, sem interferir com os seus movimentos, e que se distinguem dos sistemas anteriores por serem atualmente comercializados. Estes produtos apresentam informação útil ao dia-a-dia de um atleta.

#### **3.6.1. Sistemas de Utilização Autónoma**

Os sistemas de utilização autónoma, pela sua facilidade de utilização, podem ser usados pelo nadador sem a necessidade de conhecimentos sofisticados ou a intervenção de terceiros. São tipicamente de pequena dimensão e apresentam características ergonómicas, daí a sua fácil adaptação prática.

Um dos primeiros sistemas desenvolvidos para a análise do desempenho em natação incorpora dois sensores diferentes, mais concretamente, um acelerómetro e um giroscópio. Este sistema tem como principal objetivo desenvolver uma ferramenta de apoio à monitorização da braçada do nadador, sendo capaz de recolher informação complementar à obtida a partir de câmaras subaquáticas (Ohgi, 2002).

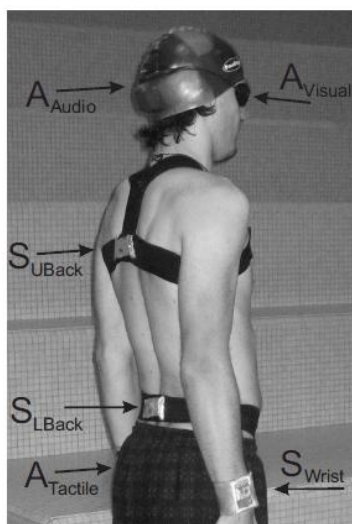


**Figura 3.2 – Sistema de (Ohgi, 2002)**

Para tal, foi desenvolvido um protótipo, visível na Figura 3.2. O acelerómetro e o giroscópio incorporados neste sistema permitem medir a aceleração e a velocidade angular sobre três eixos. Estes parâmetros possibilitam a obtenção de informação sobre as diferentes fases subaquáticas da braçada de um atleta, nomeadamente das técnicas de *crawl* e de *bruços*. Permite igualmente detetar o aumento da fadiga do atleta, ao analisar a variação do padrão de movimento da braçada. Sendo um dos primeiros sistemas criados nesta área, não considera a comunicação sem fios.

Posteriormente, James, et al., (2004) desenvolveram outro dispositivo de pequenas dimensões composto por um acelerómetro triaxial que tem como finalidade a medição de indicadores de desempenho na natação e no remo. Este sistema destaca-se por ser o primeiro a integrar um conjunto de algoritmos que permitem não só a identificação das viragens e da técnica nadada, mas também a contagem do número de braçadas realizadas pelo atleta. Mais tarde, os mesmos autores utilizam o dispositivo desenvolvido, mas neste caso para testar a viabilidade dos acelerómetros na monitorização em natação de competição. Estes verificam que os dados adquiridos por esta plataforma oferecem informação com tanta ou mais precisão que os adquiridos manualmente (Davey, et al., 2008).

Posteriormente, Bachlin, et al., (2009) criaram um sistema de obtenção de parâmetros de desempenho na natação composto por duas partes. O primeiro módulo permite extrair informação sobre parâmetros como o tempo de volta, a velocidade do atleta, braçadas por volta e, também, o balanço e rotação do corpo. Este sistema é composto por vários sensores, localizados em diferentes partes do corpo do atleta. O segundo módulo é constituído por um sistema de comunicação que tem como objetivo dar *feedback* ao atleta em tempo real. A comunicação é estabelecida via áudio através de um *beeper*, visualmente através de LED's de duas cores incorporados nos óculos do atleta e, ainda, via tátil através de um motor de vibração. Esta comunicação é realizada a partir de uma estação base (i.e. um computador posicionado no cais da piscina) recorrendo a um sistema *wireless*.



**Figura 3.3 – SwimMaster (Bachlin, et al., 2009)**

Na Figura 3.3 verifica-se a localização dos diferentes sensores bem como os dispositivos de comunicação utilizados neste sistema. São então utilizados três sensores, localizados em três pontos diferentes, parte superior e inferior das costas e no punho do atleta e três dispositivos de comunicação, situados nos óculos, no ouvido e no pulso do atleta. Na Figura 3.3 os sensores e os dispositivos de comunicação são representados por um “S” e por um “A” respetivamente, sendo assim visível a sua posição no corpo do atleta.

Apesar do objetivo do módulo de comunicação deste sistema ser dar *feedback* em tempo real, tal não foi possível implementar neste projeto. No entanto, foi feita uma avaliação destes três sistemas de *feedback* usando sequências pré definidas, nas quais se testa a reação do atleta a três tipos de sinais: (i) sinais contínuos, (ii) sinais de duas ocorrências curtas e (iii) sinais de quatro ocorrências diferentes. Os autores reconhecem que a implementação de uma comunicação via *wireless* traz grandes benefícios a sistemas de avaliação de desempenho como este e assim este trabalho destaca-se por ser o primeiro a considerar a implementação de um módulo de comunicação em tempo real.

Uma vez mais, com o objetivo de desenvolver um dispositivo de monitorização da natação, Pansiot, et al., (2010) conceberam um sistema simples, baseado num sensor de pequenas dimensões de modo a ser facilmente utilizado pelo atleta. Após o estudo realizado pelos autores sobre a melhor localização do dispositivo no corpo do atleta, verificou-se que os dados obtidos por um sensor colocado na cabeça levam à melhor compreensão dos diferentes parâmetros de desempenho. É então visível na Figura 3.4 o modo como o aparelho é colocado nos óculos do atleta.



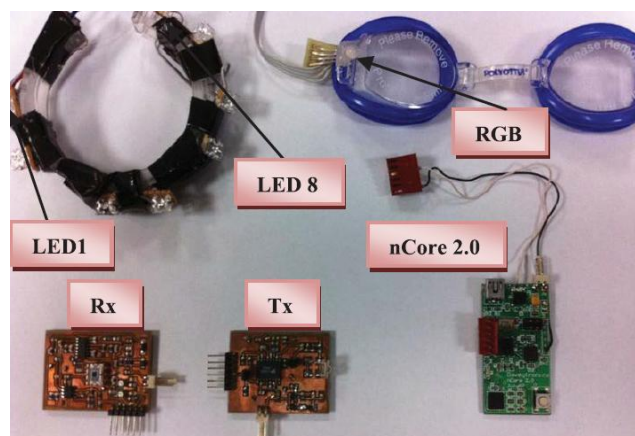
**Figura 3.4 – Sistema Desenvolvido em Pansiot, et al. (2010)**

Este sistema é uma versão modificada de outro anteriormente criado pelos mesmos autores, o qual é revestido por uma camada de latex, tornando-o à prova de água. Das principais características deste equipamento destaca-se a capacidade de transmitir dados para uma estação base sem fios, durante o período de descanso do atleta. Assim, o treinador tem acesso à informação sobre os indicadores de desempenho do seu atleta em praticamente tempo real.

Mais recentemente foi desenvolvido um dispositivo, inserido num projeto denominado de BIOSWIM que consiste no desenvolvimento de um fato completo de aquisição de sinais vitais e de desempenho no desporto. Destes destacam-se os dados de eletromiografia (i.e., sinais da atividade muscular), aceleração e rotação do corpo do atleta, frequência cardíaca, pressão, consumo de oxigénio e temperatura. Porém, os autores restringiram-se à elaboração de um sistema simples de monitorização do desempenho em natação (Silva, et al., 2012).

Este dispositivo, à semelhança dos analisados anteriormente, integra um acelerómetro triaxial e um giroscópio biaxial que são incorporados no fato do atleta, localizando-se na parte superior das costas deste. O sistema é também constituído por uma bateria, um microcontrolador e um emissor, o qual tem como função transferir a informação em tempo real para a estação base. Os dados obtidos pelos dois sensores permitem a contagem das braçadas, identificação das viragens e o cálculo do tempo de cada volta. Esta informação serviu também para comparar as características dos movimentos de duas atletas com estatura e peso semelhantes. Apesar da informação ser transmitida em tempo real, parte dos dados foram posteriormente analisados em Matlab<sup>®</sup> através de algoritmos desenvolvidos pelos autores.

Por último, ainda em análise dos sistemas de utilização autónoma existentes, foi ainda desenvolvido um sistema que tem como principal objetivo informar o atleta em tempo real sobre o ritmo de braçada ao qual nada (Hagem, et al., 2013). As componentes do sistema são visíveis na Figura 3.5. O sistema é constituído por 5 componentes: um transmissor e recetor óticos, um sensor *wireless* nCore 2.0, um par de óculos equipados com LED's de três cores e um anel composto por oito LED's.



**Figura 3.5 – Componentes do sistema de Hagem, et al. (2013)**

O sensor *wireless* nCore 2.0 é utilizado para medir os dados de aceleração. Este inclui um acelerómetro de 3 eixos, um microcontrolador e uma memória que permite guardar a informação sobre o desempenho do atleta, dando assim ao nadador, ou até mesmo ao treinador, a possibilidade de analisar após a atividade física. Juntamente com o sensor, o emissor, representado por “Tx” na figura acima, e o anel de LED’s, são colocados no pulso do atleta. Estes dois componentes têm como função transmitir os dados provenientes do acelerómetro para o receptor, representado por “Rx” e que se encontra na cabeça do atleta juntamente com os óculos.

Este sistema é relativamente simples e de fácil leitura para o nadador, pelo que permite uma rápida interpretação e resposta à informação. Essencialmente, cada uma das três cores dos LED’s incorporados nos óculos corresponde a uma classificação do desempenho do atleta, a qual diz respeito ao número de braçadas. Antes de iniciar o exercício, o treinador estipula um dado ritmo de braçadas que o nadador deverá respeitar enquanto nada. Caso o atleta esteja a executar esse ritmo, a luz verde aparecerá nos óculos, caso o ritmo seja menor que o estabelecido anteriormente, a luz vermelha acende, contrariamente, no caso em que esse ritmo seja superior, acende-se a luz azul.

Porém, os autores reconhecem que a transmissão de dados via *wireless* através de LED’s enfrenta vários desafios, nomeadamente a existência de bolhas de ar geradas pelos movimentos do atleta e a presença de luz no ambiente onde o sistema é usado.

### **3.6.2. Sistemas de Utilização Assistida**

Os sistemas de utilização assistida, devido à sua complexidade e quantidade de sensores que incorpora, são dificilmente integrados no corpo do nadador e assim, para a sua utilização, é necessário o apoio de um ou mais técnicos e não apenas do treinador. No entanto, este tipo de sistemas contribuem para o estudo de novas técnicas de monitorização e análise da respetiva informação. Na verdade, a medição do perfil de aceleração dos nadadores a partir de vários sensores tem o potencial para oferecer vantagens significativas às técnicas de treino (Callaway, et al., 2009). Durante a presente subsecção são analisados alguns dos trabalhos realizados nesta área de investigação desportiva.

Até 2009 não existia nenhum sistema de monitorização de natação que complementasse a análise de vídeo com os dados de aceleração provenientes de um acelerómetro (Khoo, et al., 2009). Após uma revisão da literatura, Khoo, et al., (2009), concluíram que a análise do desempenho em natação a partir de câmaras de vídeo pode suscitar algumas dúvidas em relação a certos pontos dos movimentos do atleta. Por outro lado, estudos anteriores revelam a utilidade dos acelerómetros na análise do desempenho. Assim, e de forma a melhorar alguns dos problemas existentes na monitorização de nadadores através de câmaras de vídeo, os autores decidiram integrar estas duas componentes num só sistema. Na Figura 3.6 podem-se verificar tanto os seus principais componentes, como parte do seu funcionamento.

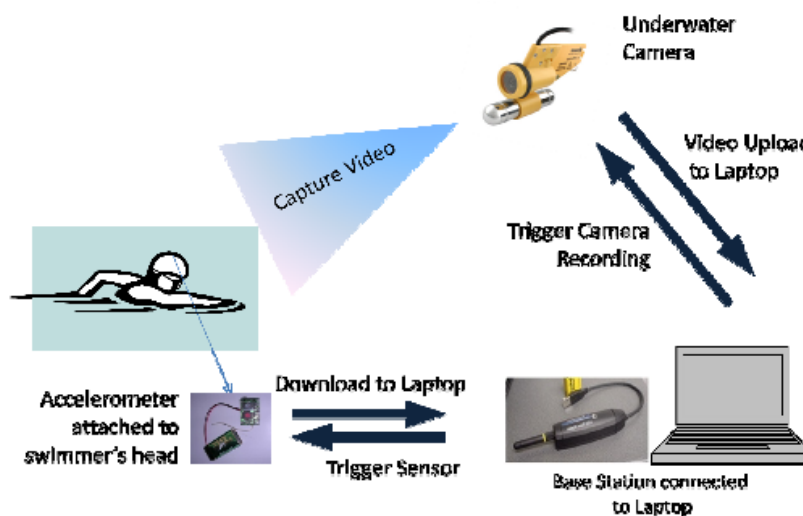


Figura 3.6 – Componentes do Sistema de Khoo, et al. (2009)

É de notar que o acelerómetro é colocado na cabeça do atleta e que a câmara de vídeo é colocada debaixo de água de forma a ter uma visão correta dos movimentos subaquáticos do atleta e, assim, distinguir com clareza as diferentes fases de braçadas deste. Através de *triggers* eletrónicos os aparelhos são sincronizados e iniciam a recolha de dados ao mesmo tempo. Estes dados são enviados para um computador portátil que se encontra junto da piscina mas, apesar da transmissão de informação ser feita via *wireless* esta não é realizada em tempo real. Na verdade, os dados são enviados para a estação base apenas quando o atleta se mantém fora de água.

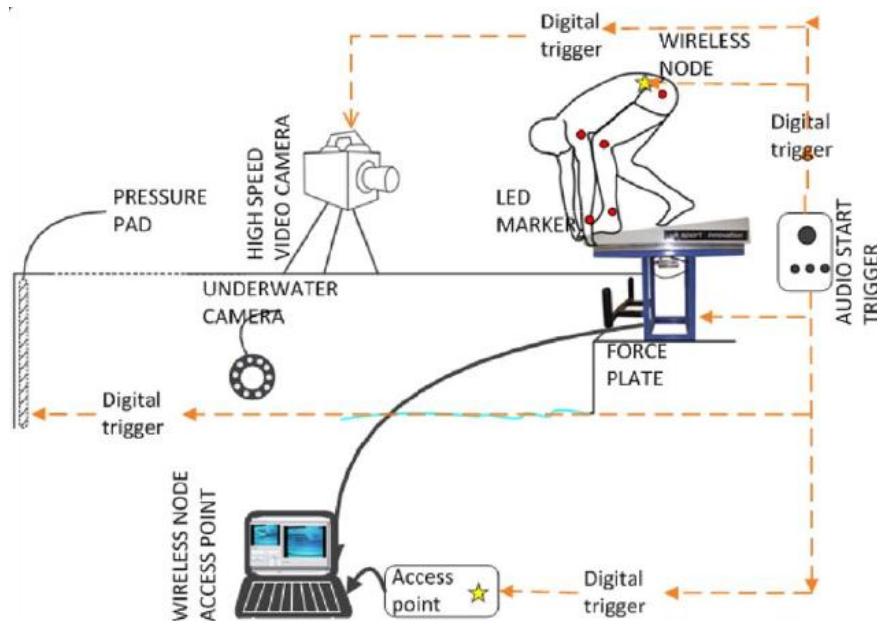
Ainda neste estudo, é desenvolvido um *software* de análise de dados que tem como objetivo determinar a variação de velocidade do atleta entre braçadas. Para tal, e através das componentes do sistema, são identificadas braçadas e, posteriormente, calculado o intervalo médio entre estas e a aceleração dos braços esquerdo e direito.

Outro exemplo de um sistema de utilização assistida é o desenvolvido por Chakravorti, et al., (2013). O grande objetivo deste trabalho de investigação recai na melhoria dos sistemas de monitorização aplicados ao desempenho na natação. Após uma análise dos produtos já existentes, os autores depararam-se com a falta de um sistema com comunicação em tempo real com os treinadores e propuseram a implementação de um novo sistema integrado de análise do desempenho de nadadores que satisfaça essa necessidade.



Este projeto baseia-se em grande parte nos avanços feitos por Slawson, et al., (2008) e Sage, et al., (2010) e conta com a participação de praticamente os mesmos intervenientes. Primeiramente, em Slawson, et al., (2008), é desenvolvido um sistema integrado de monitorização do nadador, utilizando apenas uma câmara de vídeo e um acelerómetro, com o objetivo de demonstrar que os dados derivados de um acelerómetro permitem não só calcular parâmetros específicos das braçadas de um nadador, tais como o ritmo de braçada e a respetiva duração, mas também identificar e comparar características únicas entre atletas. Neste sistema a câmara de vídeo é utilizada para analisar os dados recolhidos pelo acelerómetro. Posteriormente, Sage, et al., (2010), acrescentam ao sistema desenvolvido anteriormente uma placa de medição de força na plataforma de partida e uma câmara subaquática. Adicionalmente, este sistema permite não só a visualização e análise dos dados na estação base em tempo real através de uma rede de comunicação *wireless* (*wireless sensor network*), mas também a comunicação em tempo real com o atleta via áudio.

No projeto mais recentemente desenvolvido pelos mesmos autores, foi acrescentada ao sistema uma placa de deteção de força nas paredes da piscina, a qual permite facilmente obter os tempos das voltas, e um *software* que possibilita a obtenção e avaliação da informação em tempo real. A Figura 3.7 representa de forma esquemática a ligação entre todos os componentes do sistema.



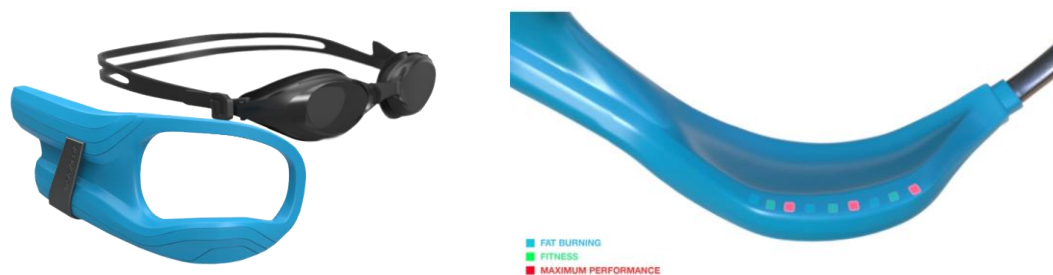
**Figura 3.7 – Sistema Integrado proposto por Chakravorti, et al. (2013)**

O sistema inicia a aquisição de dados quando é dado o sinal de partida sonoro. No momento deste sinal é enviado um *trigger* digital para todas as componentes do sistema, o qual permite a sincronização dos dados provenientes das diferentes fontes. É de notar que durante o funcionamento de todo o processo de aquisição de sinais, o atleta utiliza *visual markers*, dispostos em diferentes posições do corpo, os quais servem para uma futura análise dos seus movimentos através das duas câmaras de vídeo.

### 3.6.3. Produtos Comercializados

Entre os produtos disponíveis comercialmente, em primeiro lugar é analisado o produto criado por Hobeika, et al., (2013), denominado por Instabeat. O Instabeat foi oficialmente fundado em 2011 e é um dispositivo de monitorização da pulsação do nadador em tempo real, recorrendo a um sensor ótico que efetua a recolha de dados a partir da artéria temporal superficial, uma das principais artérias da cabeça. O aparelho liga-se automaticamente ao detetar a pulsação do atleta e desliga-se assim que é removido. A sua função baseia-se principalmente na necessidade que os nadadores de alta competição têm em saber a sua pulsação em tempo real por forma a controlar e adaptar o seu desempenho às diferentes fases do treino. À semelhança do que foi apresentado na Secção 3.4.3, os autores deste sistema dividem os valores da pulsação em três categorias: *Fat Burning*, *Fitness* e *Maximum Performance*. Estas estão associadas a três cores: azul, verde e vermelho, respetivamente.

Como é observável na Figura 3.8 – Instabeat , o aparelho é adaptável aos óculos do nadador, apresentando assim a informação em tempo real com a ajuda de um microprocessador e através de LED's de três cores.



**Figura 3.8 – Instabeat (Hobeika, et al., 2013)**

Este produto permite ainda guardar os dados adquiridos durante uma sessão de treino num módulo de memória. Assim, o atleta poderá analisar a informação ao longo do tempo.

Outro exemplo de um produto atualmente comercializado e que tem como objetivo monitorizar a pulsação do nadador é o sistema desenvolvido pela FINIS, o AqualPulse., Este aparelho recolhe a informação do ritmo cardíaco através de um sensor de monitorização do fluxo de sangue na orelha, sensor este normalmente designado por Variação da Onda de Pulso (VOP). Pode-se observar este produto na Figura 3.9.



**Figura 3.9 – AquaPulse (AquaPulse, 2013)**

A informação recolhida pelo pequeno sensor é processada por um computador incorporado no aparelho e transmitida por vibrações sonoras em tempo real. Esta forma de comunicação é a principal tecnologia implementada no AquaPulse. O sinal sonoro é transmitido para o ouvido do nadador através do osso maxilar, permitindo assim obter um sinal com qualidade.

Também desenvolvido pela FINIS, o SwimSense, calcula os metros percorridos, o número de braçadas realizadas em cada volta, bem como o ritmo de braçada do atleta, a partir dos dados obtidos por um acelerómetro. Estes dados são apresentados em tempo real no visor do aparelho ou podem ser analisados com mais detalhe após a sessão de treino (SwimSense, 2013).

Este aparelho é facilmente utilizável pois baseia-se no formato de um relógio e é ajustável ao pulso do atleta. Pode-se observar o produto na Figura 3.10.



**Figura 3.10 – SwimSense (SwimSense, 2013)**

Muito semelhante ao produto anterior, a Garmin desenvolveu um relógio que identifica o estilo nadado pelo atleta, o número de braçadas realizadas em cada volta, a distância percorrida numa sessão de treino e cronometra as voltas automaticamente (Garmin, 2013). À semelhança do SwimSense, a informação obtida é visível em tempo real no monitor do aparelho ou poderá, posteriormente, ser analisada num computador. Contrariamente ao produto analisado anteriormente, o Garmin Swim faz a transferência de dados para o computador via *wireless*. Este produto pode ser observado na Figura 3.11.



**Figura 3.11 – Garmin Swim (Garmin, 2013)**

Outro exemplo de um produto comercializado é o Polar FT1, o qual apenas disponibiliza a informação sobre o ritmo cardíaco através de um sensor ECG. Este sensor está localizado numa banda peitoral a qual deve ser utilizada pelo atleta enquanto nada, o que pode resultar nalgum desconforto durante a execução de certos movimentos. Este produto permite ainda que o utilizador descarregue os dados do treino para um computador, possibilitando assim uma futura análise do seu desempenho (Polar, 2013). Na Figura 3.12 é visível os componentes deste produto.



**Figura 3.12- Polar FT1 (Polar, 2013)**

#### **3.6.4. Resumo dos Sistemas e Produtos**

De forma a sintetizar toda a informação analisada anteriormente, a Tabela 3.7 apresenta de forma resumida as principais características de cada um dos sistemas e produtos expostos anteriormente. Assim, a Tabela 3.7 divide os diversos aparelhos estudados nas subsecções anteriores entre “Sistemas” e “Produtos Comercializados”. Também os caracteriza segundo o tipo de comunicação realizada pelo dispositivo (i.e. se é realizada em tempo real ou não) e, de igual forma, segundo a possibilidade de disponibilização da informação ao treinador.

**Tabela 3.7 – Resumo dos Sistemas e Produtos**

<b>Referência</b>	<b>Sistema/Produto Comercializado</b>	<b>Comunicação em Tempo Real (Sim/Não)</b>	<b>Informação Disponibilizada ao Treinador (Sim/Não)</b>
<b>(Ohgi, 2002)</b>	Sistema	Não	Sim
<b>(James, et al., 2004)</b>	Sistema	Não	Sim
<b>(Davey, et al., 2008)</b>	Sistema	Não	Sim
<b>(Bachlin, et al., 2009)</b>	Sistema	Não	Sim
<b>(Khoo, et al., 2009)</b>	Sistema	Não	Sim
<b>(Pansiot, et al., 2010)</b>	Sistema	Não	Sim
<b>(Silva, et al., 2012)</b>	Sistema	Sim	Sim
<b>(Chakravorti, et al., 2013)</b>	Sistema	Sim	Sim
<b>(Hagem, et al., 2013)</b>	Sistema	Sim	Não
<b>(Hobeika, et al., 2013)</b>	Produto Comercializado	Sim	Não
<b>(SwimSense, 2013)</b>	Produto Comercializado	Sim	Não
<b>(Garmin, 2013)</b>	Produto Comercializado	Sim	Não
<b>(Polar, 2013)</b>	Produto Comercializado	Sim	Não
<b>(AquaPulse, 2013)</b>	Produto Comercializado	Sim	Não

Uma vez analisada a Tabela 3.7, é possível verificar que apenas os trabalhos realizados por Silva, et al., (2012) e Chakravorti, et al., (2013) permitem ao treinador ter acesso à informação do desempenho do atleta em tempo real. No entanto, nenhum destes trabalhos é, atualmente, comercializado como um produto, pelo que é possível identificar uma ausência de sistemas de monitorização e comunicação em tempo real com o objetivo de informar o treinador na natação.

É ainda de salientar que todos os produtos comercializados permitem obter a informação do desempenho do atleta em tempo real, porém, essa informação não é disponibilizada ao treinador.

### 3.7. Conclusão

Na natação existem quatro técnicas diferentes: *crawl*, bruços, costas e mariposa. Em alta competição, o controlo destas técnicas é fundamental para a obtenção de bons resultados. Na verdade, o aperfeiçoamento destas, com vista à melhoria do desempenho de um nadador, é a principal preocupação do treinador.

De forma a avaliar a técnica e, conseqüentemente, o desempenho dos atletas existem três métodos principais de observação: a percepção própria, a supervisão do treinador e a análise de vídeo. A supervisão de um treinador tem subjacente a melhoria não só das competências físicas e técnicas do atleta, mas também das competências sociais. Porém, o treinador por si só não tem a capacidade de observar o atleta em todos os âmbitos de avaliação, o que leva à necessidade de recorrer a métodos de observação alternativos que complementem o seu trabalho.

Atualmente existem diversos sistemas de monitorização que auxiliam a observação do atleta, alguns sob a forma de protótipo, outros já como produtos comerciais. Estes sistemas têm como principal função adquirir informação relativa a diferentes indicadores de desempenho, por exemplo, o número de braçadas ou o tempo das voltas, através de diversos sensores, destacando-se o acelerómetro e a câmara de vídeo pela sua capacidade de recolha de informação importante à avaliação do desempenho do nadador. Os sensores de pequenas dimensões podem ser colocados no corpo do atleta seja na cintura, costas, cabeça ou pulso, dependendo da informação que se pretende recolher e avaliar.

Os sistemas de monitorização atualmente existentes podem ser utilizados de forma autónoma ou requerendo a presença e a supervisão de técnicos especializados durante a sua utilização. Alguns destes sistemas, pela potencialidade que têm, foram explorados do ponto de vista da inovação, sendo que se obteve, nalguns casos, produtos promissores no mercado e que, atualmente são comercializados por satisfazerem uma necessidade do mercado. Porém, e após a análise desses produtos, verificou-se que nenhum deles apresenta características que permitam informar o treinador sobre o desempenho de um nadador em tempo real.

É com base nesta lacuna que se enquadra o desenvolvimento de um protótipo que seja capaz de adquirir informação útil à avaliação do desempenho de um nadador em tempo real. A descrição desse mesmo protótipo, bem como dos testes efetuados ao mesmo é elaborada no próximo capítulo.

## Capítulo 4 - Proposta de um Novo Sistema

---

O presente capítulo visa não só propor um novo sistema de monitorização em natação como o também descrever o respetivo protótipo a desenvolver nesta Dissertação. Neste sentido, na Secção 4.1 é realizada uma breve introdução ao capítulo. De seguida, na Secção 4.2 é apresentado o BITalino, dispositivo que servirá de base ao protótipo, sendo referidas as suas principais componentes e respetivo modo de funcionamento. Na Secção 4.3 é realizada uma descrição detalhada do sistema proposto, o qual constitui a adaptação e aplicação do BITalino a um ambiente aquático, em particular, à Natação. Segue-se a Secção 4.4 que apresenta e descreve os algoritmos desenvolvidos com o intuito de analisar os dados adquiridos pelo protótipo e, por último, na Secção 4.5 são evidenciadas as principais ideias a reter do Capítulo.

### 4.1. Introdução

A análise das técnicas de monitorização utilizadas em natação permite verificar que os sistemas atualmente existentes e comercializados não disponibilizam informação ao treinador em tempo real. Uma vez identificada esta lacuna como oportunidade de inovar, seguem-se as fases de proposta de um novo sistema e desenvolvimento do respetivo protótipo, essencial para a realização de testes, fase que, segundo o Processo de Desenvolvimento do Produto, antecede o lançamento de um novo produto no mercado.

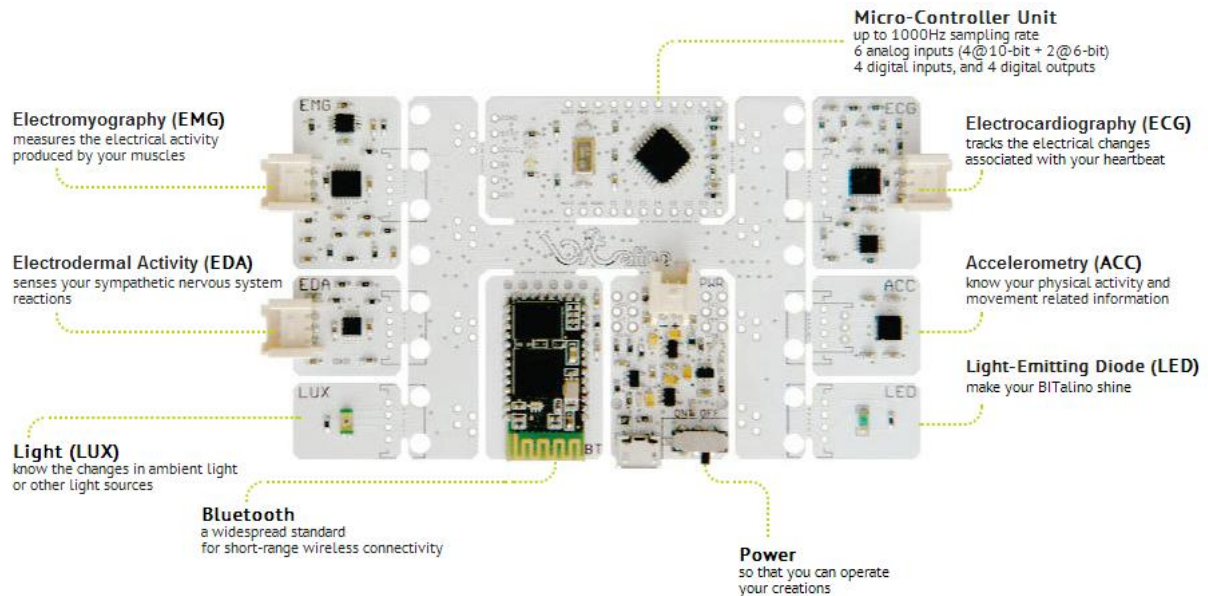
O sistema proposto tem implícita a recolha de sinais indispensáveis à determinação de indicadores de desempenho e, portanto, para efeito da presente Dissertação, o desenvolvimento do protótipo passa por escolher uma plataforma que permita a aquisição de sinais, inclusive fisiológicos, que medem o desempenho desportivo. Por sua vez, essa aquisição de sinais exige requisitos específicos que, em parte devido aos custos associados, tornam a utilização dos dispositivos atualmente disponíveis bastante limitada.

Neste sentido, o BITalino é um dispositivo que integra as características necessárias para a aquisição de sinais desta natureza, a um custo acessível e com elevada versatilidade de componentes de *hardware* que facilitam a sua utilização e potenciam o desenvolvimento de novos projetos e aplicações (Silva, et al., 2014). Deste modo, o protótipo que se pretende desenvolver conta não só com a utilização deste aparelho e a sua configuração de acordo com as necessidades existentes aquando da aquisição de biosinais, como também com o desenvolvimento dos algoritmos de processamento de sinal que permitam obter os indicadores de desempenho do atleta pretendidos. Uma alternativa a este dispositivo seria o Arduino (Banzi, 2009), contudo optou-se por recorrer ao BITalino por este estar especialmente desenhado para lidar com sinais fisiológicos e pela sua facilidade de utilização.

### 4.2. Plataforma de Desenvolvimento do Protótipo – O BITalino

O BITalino é um dispositivo desenvolvido pelo IT – Instituto de Telecomunicações em parceria com a PLUX – Wireless Biosignals, S.A., composto por diversos sensores que permitem ao utilizador adquirir diversos tipos de sinais. As componentes indispensáveis ao funcionamento deste aparelho,

visíveis na parte central da Figura 4.1, são o microcontrolador, o módulo de gestão de energia e o módulo de comunicação. Para além destes, a placa base contém os sensores que possibilitam a aquisição dos sinais podendo, de acordo com a versão adquirida, estar conectados de diferentes formas (Silva, et al., 2014).



**Figura 4.1 – Componentes BITalino - versão *Board* (Silva, et al., 2014)**

A versão mais comum do BITalino é, como visível na Figura 4.1, uma única placa onde estão ligados todos os componentes. No entanto, existem outras versões do sistema que permitem uma maior adaptabilidade às necessidades do utilizador, a saber:

**Tabela 4.1 – Versões do BITalino (Silva, et al., 2014)**

<b><i>Board</i></b>	<b><i>Plugged</i></b>	<b><i>Freestyle</i></b>
A placa é vendida sem modificações, isto é, é adquirida no seu formato <i>standard</i> e permite ao utilizador testar a aquisição de sinais a partir de todos os sensores disponíveis, sem necessidade de qualquer adaptação.	Apenas estão ligadas as componentes indispensáveis, deixando ao critério do utilizador quais os sensores a utilizar para a aquisição de sinais.	Semelhante ao <i>Plugged</i> , com a particularidade de todas as componentes estarem separadas pelo que é totalmente personalizável. Permite ao utilizador ligar as componentes conforme a disposição mais favorável ao projeto ou aplicação em questão.



#### 4.2.1. Componentes do BITalino

De seguida, é realizada uma descrição do papel de cada uma das componentes do BITalino, de acordo com Silva, et al., (2014).

- **Microcontrolador** – Responsável pelo processamento de informação. Permite aceder a todos os canais analógicos e digitais do BITalino e converte os sinais analógicos provenientes dos sensores em formato digital.
- **Módulo de Gestão de Energia** – Encarregue pelo fornecimento de energia a todas as componentes do BITalino. Também é responsável pela gestão da autonomia da bateria, a qual pode ser carregada conectando o dispositivo, quando desligado, a um computador através de uma porta Micro-USB.
- **Módulo de Comunicação** – Utiliza um emissor de frequências Bluetooth v2.0 de Classe II para a transferência de informação em tempo real para uma estação base.
- **Eletromiografia (EMG)** – Responsável pela medição de potenciais elétricos que decorrem da atividade muscular. Este tipo de sensor que requer a utilização de dois elétrodos bipolares, no alinhamento das fibras musculares, e um terminal terra. A eletromiografia é uma técnica bastante utilizada em diversas aplicações clínicas e biomédicas no sentido em que permite obter informação sobre a fadiga muscular e os desequilíbrios da função motora.
- **Atividade Eletrodérmica (EDA)** – Mede a resistência elétrica da pele, informação a partir da qual se pode medir a evolução do sistema nervoso do indivíduo.
- **LUX** – Composto por um fotodíodo converte a presença de luz em intensidade ou voltagem de corrente elétrica. É normalmente utilizado para sincronização com dispositivos externos.
- **Eletrocardiografia (ECG)** – Responsável por medir os sinais de atividade bioelétrica do coração. Com esses sinais é possível retirar informação acerca de, por exemplo, o ritmo cardíaco e a sua variação ao longo do tempo. Este sensor requer a utilização de elétrodos colocados em diferentes pontos do corpo do indivíduo a monitorizar (e.g. mão direita/esquerda, peito, etc.).
- **Acelerometria (ACC)** – Mede valores da aceleração ao longo do tempo em três eixos. Desta forma, permite obter informação sobre dados biomecânicos do indivíduo ou objeto a monitorizar. A partir dos dados da aceleração podem ser obtidos parâmetros como o número de passadas, deteção de quedas, inclinação, entre outros.
- **LED** – Utilizado para sincronização ou sinalização, este módulo é constituído por um díodo que emite luz quando o sinal de *input* é alto e se desliga quando o sinal de *input* é fraco.

A grande vantagem de utilização do BITalino neste trabalho é a sua possibilidade de, entre os inúmeros sinais que permite adquirir, conseguir a aquisição de biosinais. Deste modo, é expandido o espetro de aplicações ao integrar o BITalino num dispositivo aquático desenvolvido com o intuito de ajudar os treinadores na monitorização do desempenho dos seus atletas.

#### 4.2.2. Modo de funcionamento do BITalino

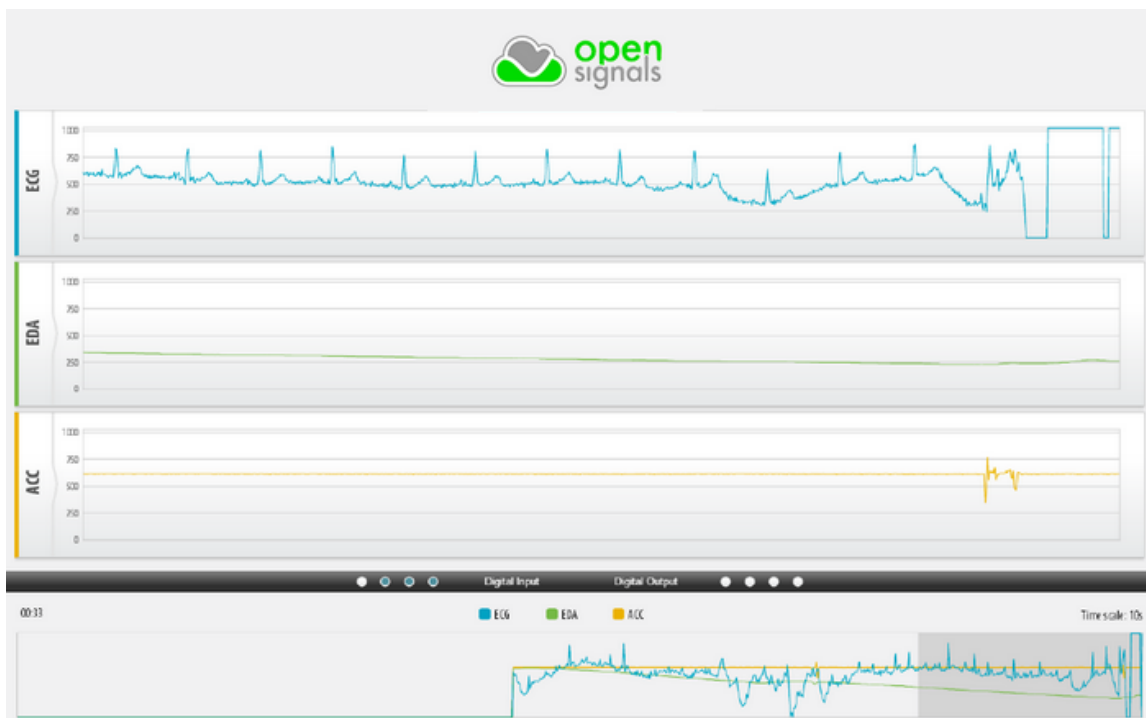
O modo de funcionamento do BITalino implica, antes de mais, a verificação de um conjunto de condições que assegurem a compatibilidade entre o dispositivo e a estação base (i.e. computador). Assim, a primeira condição é verificar a possibilidade de estabelecer conexão por *Bluetooth*, podendo a mesma ser realizada a partir de um dispositivo externo ou interno, já incorporado na estação base. Em segundo lugar, é importante verificar se o BITalino tem autonomia suficiente para assegurar o bom funcionamento de todo o processo e, por último, é necessário confirmar se o dispositivo foi automaticamente identificado pelo computador. Caso contrário esse processo deverá ser realizado manualmente.

Tendo-se verificado todas as condições anteriores, o utilizador deverá abrir o programa OpenSignals de forma a iniciar a recolha de sinais a partir do BITalino. O *software* OpenSignals permite visualizar, gerir e guardar a informação que é enviada pelo dispositivo para a estação base. Uma vez iniciado, são apresentadas quatro opções ao utilizador, como mostra a Figura 4.2



Figura 4.2 – Menu de Início do OpenSignals (da Silva, et al., 2014)

Assim, antes de iniciar a recolha de dados é importante configurar o programa de acordo com o tipo de informação que se pretende recolher, ou seja, selecionar os sensores que deverão estar ativos e definir a frequência de amostragem. Tal é efetuado na secção “D-Configurations”. Tendo sido realizadas todas estas configurações, o utilizador poderá iniciar a recolha de dados clicando na opção “B-Record”. Automaticamente são mostrados no ecrã os sinais recebidos em tempo real, como mostra a Figura 4.3.

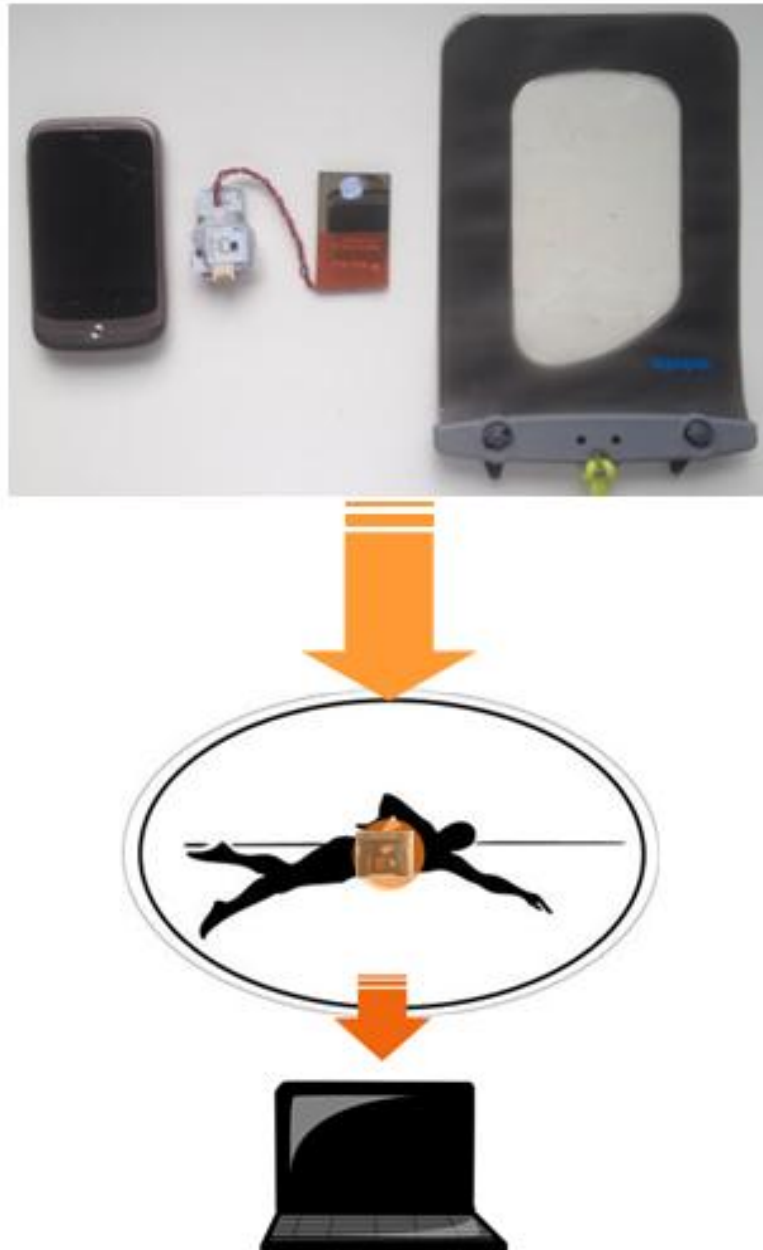


**Figura 4.3 - Aquisição de Sinais no OpenSignals**

Uma vez terminada a recolha, o utilizador poderá guardar a informação em formato “txt” ou “hdf5”, clicando na opção “C-Save”. Por último, para encerrar o programa o utilizador poderá clicar na opção “A-Exit”.

### **4.3. Sistema Proposto**

O sistema utilizado na presente Dissertação para a monitorização do desempenho de atletas de natação é composto pelo BITalino e um computador que serve como estação base e plataforma de comunicação, conforme a Figura 4.4 ilustra, sendo os mesmos responsáveis pela aquisição e transmissão de sinais, e receção e análise de sinais, respetivamente. No entanto, e como será analisado no Capítulo 5, o computador, que serve como estação base, poderá ser substituído por um telemóvel.



**Figura 4.4 - Sistema Proposto – Dispositivo de aquisição de sinais colocado junto do corpo do atleta comunicando por *Bluetooth* com a estação base**

Uma vez colocado o dispositivo no atleta e estabelecida a ligação entre este e a estação base, o sistema está apto para a aquisição e posterior análise de sinais. Assim, a aquisição de dados da atividade do atleta é efetuada pelo BITalino, igualmente encarregue pela transmissão em tempo real dos sinais analógicos para o computador, recorrendo ao módulo de comunicação *Bluetooth*. Após a receção destes, é necessária a implementação de algoritmos em Matlab<sup>®</sup> que permitam a análise dos respetivos sinais e interpretação de informação útil ao treinador. Esta fase não é realizada em tempo real uma vez que para tal, os algoritmos deveriam ser implementados diretamente no processador incorporado no BITalino.

Para a criação deste sistema recorre-se a uma versão do BITalino concebida para o fim particular deste projeto, embora inspirada na versão *Freestyle*. As especificações deste dispositivo em concreto estão expostas na Tabela 4.2 – Especificações do protótipo usando um BITalino. É ainda de salientar que o protótipo aqui utilizado, para além das componentes indispensáveis do BITalino, é composto pelo acelerómetro e o sensor de ECG.

**Tabela 4.2 – Especificações do protótipo usando um BITalino**

<b>Ritmo da Amostragem</b>	<b>1,10,100 ou 1000 Hz</b>
<b>Sensores</b>	ECG e Acelerómetro
<b>Ligação de Dados</b>	Bluetooth 2.0 + EDR (10m de alcance)
<b>Bateria</b>	lões de Lítio – 3.7V
<b>Peso</b>	25g
<b>Tamanho</b>	40x28x18mm

Embora o sistema descrito possa ser utilizado tanto dentro como fora de água, existe uma distinção nos sensores utilizados e no invólucro onde é colocado, em função da natureza do meio onde os testes são efetuados. Nos testes fora de água recorre-se ao ECG e ao acelerómetro, enquanto dentro de água apenas se utiliza o acelerómetro por ser o único sensor que permite a captação de sinais nestas condições, isto é, não requer a aplicação de cabos de conexão com o atleta. Por outro lado, foram utilizadas diferentes bolsas de proteção do dispositivo enquanto testado. Na Figura 4.5 e na Figura 4.6 são visíveis as bolsas adequadas para meio seco e aquático, respetivamente. É de notar que a impermeabilidade do sistema é garantida recorrendo a uma bolsa de plástico à prova de água, na qual quer a placa base quer o acelerómetro estão protegidos. No entanto, a aplicação desta bolsa pode resultar no aumento do desconforto sentido pelo atleta aquando a sua utilização dentro de água.



**Figura 4.5 - Bolsa Kalenji**



**Figura 4.6 – Bolsa Estanque Aquapac**

Importa relembrar a avaliação efetuada na Secção 3.5 quanto à melhor localização do dispositivo no corpo do atleta, pois é fundamental analisar a possibilidade de estabelecer a ligação do equipamento tendo em conta restrições como, por exemplo, o comprimento dos cabos de ligação entre os eléctrodos e a placa base, no caso de utilização do sensor de ECG. Os eléctrodos devem ser colocados na zona do peito do atleta na medida em que é a zona onde se pode m adquirir os sinais eléctricos do batimento cardíaco com melhor qualidade e, devido ao comprimento do cabo, o dispositivo é colocado no braço do atleta (ver Figura 4.7).



**Figura 4.7 - ECG instalado no corpo do Atleta**

Já o acelerómetro tem a particularidade de poder ser colocado em qualquer zona do corpo, embora a cintura/costas, cabeça ou pulsos sejam as zonas mais utilizadas, tal como se analisa no Capítulo 3, para obter informação sobre a aceleração associada aos movimentos do atleta. Note-se que qualquer uma das localizações consideradas para os diferentes sensores tem em conta o conforto do atleta na execução dos movimentos.

#### **4.4. Tratamento dos Sinais**

Sendo o principal objetivo do sistema aqui proposto coleccionar informação para disponibilizar ao treinador e, uma vez que o BITalino recolhe dados brutos da aceleração e ECG, é necessário,

posteriormente, realizar uma análise desses dados. Esta análise requer a criação e a implementação de algoritmos específicos, desenvolvidos em Matlab<sup>®</sup>, para cada sensor e respectivos sinais, isto é, para o sensor ECG e para o acelerômetro. Na presente seção são explicados em maior detalhe cada um dos processos utilizados para o tratamento dos dados. Em primeiro lugar é analisado o algoritmo dedicado ao sensor ECG e, em segundo lugar, o algoritmo responsável pelo tratamento dos sinais provenientes do acelerômetro.

#### 4.4.1. ECG

Como descrito anteriormente, um dos sensores que integra o sistema proposto é o sensor de eletrocardiografia. Tipicamente, este sensor permite obter dados sobre o batimento cardíaco de um indivíduo, sendo a partir desses dados possível derivar a desejada informação sobre o ritmo cardíaco. O algoritmo desenvolvido para o processamento e análise do sinal ECG no âmbito deste trabalho é sumariamente descrito na Figura 4.8.

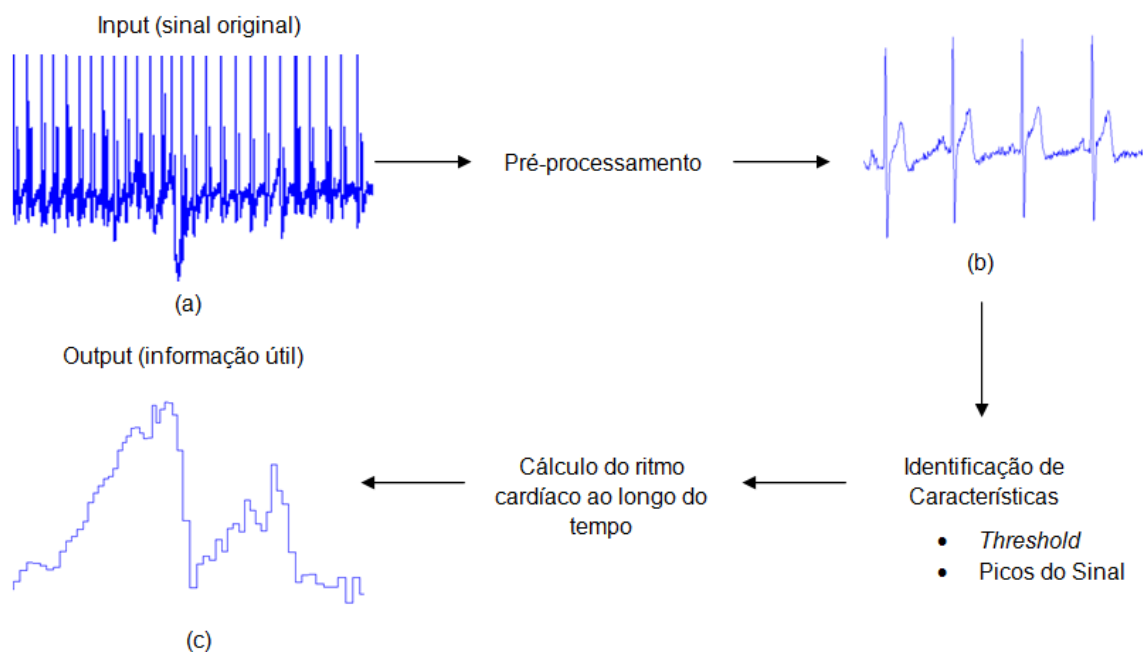


Figura 4.8 – Algoritmo para análise do sinal de ECG

O *Input* deste processo é o sinal obtido pelo sensor de eletrocardiografia do BITalino (Figura 4.8 (a)). Como se verifica na figura, o sinal obtido pode não ser adequado para efetuar uma análise, devido a diversas fontes de ruído, naturais do sensor ECG, como será analisado mais à frente. Pode-se então resumir o procedimento de análise do sinal ECG em três etapas principais: o pré-processamento, a detecção de picos e o cálculo do ritmo cardíaco.

##### I. Pré-processamento

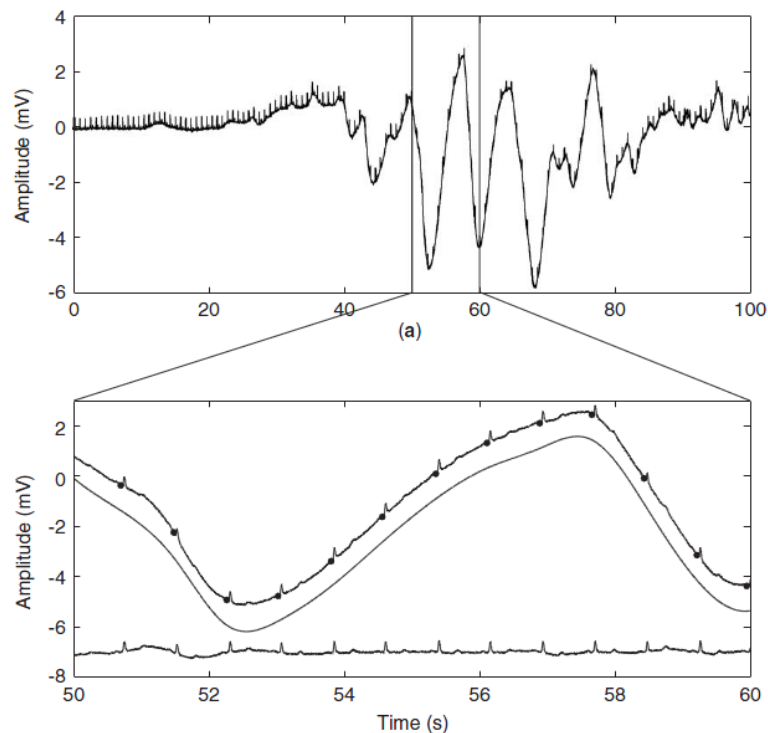
A etapa de pré-processamento consiste no aperfeiçoamento do sinal obtido com vista a uma melhor análise das suas características. Em condições ideais, por exemplo, em completo repouso do indivíduo e sem qualquer interferência de elementos externos, consegue-se obter um sinal limpo e bem definido. Contudo, este pode ser distorcido por diversos tipos de ruídos e interferências que

modificam o sinal original a ponto de se tornar imperceptível qualquer batimento cardíaco, entre os quais se destacam (Kaur, et al., 2011; Hemingway & Ranganathan, 2013):

- Interferências da corrente elétrica;
- Oscilação da *baseline*;
- Ruído da atividade muscular;
- Ruído de outros instrumentos elétricos.

Para o protótipo desenvolvido é apenas considerada a oscilação da *baseline* e o ruído da atividade muscular, dado que o aparelho não se encontra ligado nem à corrente elétrica nem a outros instrumentos eletrônicos.

A oscilação da *baseline* pode ser provocada pela respiração, transpiração e movimentos do corpo do indivíduo a ser monitorizado (Kaur, et al., 2011; Hemingway & Ranganathan, 2013).



**Figura 4.9 - Oscilação da *Baseline* (Sornmo & Laguna, 2006)**

Um exemplo da oscilação da *baseline* é visível na Figura 4.9, na qual se pode verificar que as alterações à forma original do sinal acontecem no domínio das baixas frequências, mais concretamente abaixo dos 0,5Hz (Sornmo & Laguna, 2006). Existem no entanto várias soluções disponíveis para a resolução deste problema, desde a aplicação de filtros à utilização de outros métodos. Entre as alternativas de filtros, destacam-se os filtros FIR e IIR, no entanto podem ser consideradas outras técnicas de remoção deste tipo de oscilações, a saber (Kaur, et al., 2011):

- Wavelet Approach;
- Moving Average Approach;
- Savitzky-Golay Filtering;



- Polynomial Fitting.

Apesar da existência de diversos tipos de filtros e técnicas com o propósito de melhorar a qualidade do sinal e, visto não ser o objetivo principal do presente estudo avaliar o desempenho de cada uma delas no âmbito da melhoria da qualidade do sinal ECG, será utilizada como critério de escolha a conclusão do estudo realizado por (Kaur, et al., 2011).

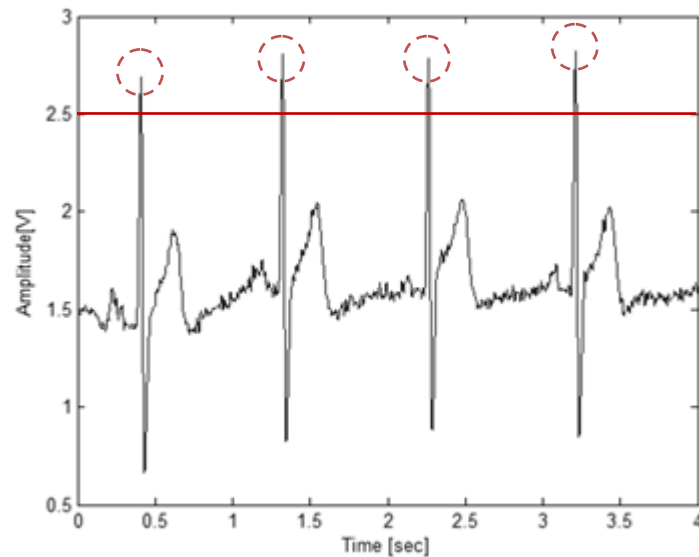
Desta forma, da análise das diversas técnicas para a remoção da *baseline*, segundo Kaur, et al., (2011), a aplicação de um filtro passa alto IIR *Zero Phase* é a que melhor soluciona este tipo de problema, razão pela qual foi a técnica utilizada na fase de pré-processamento do sinal ECG no presente trabalho. Este tipo de filtro pode ser aplicado digitalmente a partir de uma função existente nas *toolboxes* do Matlab<sup>®</sup>, sendo contudo necessário definir a frequência de corte do filtro. Esta deverá corresponder ao menor número de batimentos cardíacos de um indivíduo durante um minuto, pois assim não se perde informação útil para o cálculo do seu ritmo cardíaco. Se se considerar que o ritmo cardíaco nunca será inferior a 30 batimentos por minutos, obtêm-se uma frequência de meio batimento por segundo. Neste sentido, a frequência de corte a aplicar ao filtro é de 0,5Hz. (Kaur, et al., 2011).

Assim, é fundamental a aplicação de um pré-processamento, de modo a preparar o sinal para uma posterior análise. Neste contexto, o principal objetivo desta fase é minimizar ruídos e interferências para que se possa obter um sinal nítido e de qualidade e, deste modo, facilitar a aquisição de parâmetros indispensáveis para o cálculo do ritmo cardíaco.

Com esta fase de pré-processamento, é possível obter um sinal semelhante ao da Figura 4.8 (b), com melhores características para análise do que o sinal de *Input*. Não obstante, posteriormente são extraídas algumas características do sinal indispensáveis para o cálculo do ritmo cardíaco, passando-se assim à segunda fase do algoritmo.

## **II. Identificação de características**

Tipicamente, são facilmente identificados os pontos correspondentes ao batimento do indivíduo monitorizado através da visualização e análise de um sinal ECG, pois estes são representados por um pico no valor da amplitude do sinal, isto é, destacam-se visualmente dos restantes valores, como é identificado a vermelho na Figura 4.10.



**Figura 4.10 - Sinal ECG BITalino(Silva, et al., 2014)**

Na prática, uma das formas para identificar esses picos do sinal passa pela utilização de um *threshold*, o qual corresponde a um valor limite, máximo ou mínimo, da amplitude do sinal. Especificamente neste caso, o *threshold* representa um valor mínimo da amplitude do sinal acima do qual se considera a contabilização de um máximo relativo do sinal, que corresponde a um batimento cardíaco, ilustrativamente representado pelo traço a vermelho na Figura 4.10 - Sinal ECG BITalino. Para o cálculo deste valor é necessário ter em conta o valor médio e o valor máximo da amplitude do sinal, como mostra a seguinte fórmula:

$$\mathbf{Threshold = 0,85 \times (Max - avg) + avg} \quad (1)$$

Onde:

Max = máximo do valor da amplitude do sinal

Avg = média do valor da amplitude do sinal

Assim, com o valor do *threshold* pode-se facilmente realizar a identificação de picos, isto é, sempre que é encontrado um valor superior ao identificado com *threshold* é contabilizado um batimento cardíaco e tendo sido feita a identificação e contabilização de todos os picos do sinal segue-se a fase do algoritmo através do qual se calculam os valores do ritmo cardíaco ao longo do tempo.

### III. Cálculo do ritmo cardíaco

O ritmo cardíaco é normalmente definido como sendo a medição do número de batimentos cardíacos durante um minuto. Para se obter um valor com estas dimensões é necessário realizar o cálculo segundo a seguinte equação:

$$\mathbf{Ritmo\ Cardíaco\ (Batimentos/minuto) = \frac{f_s}{\Delta a} \times 60} \quad (2)$$

Onde:

$f_s$  = frequência de amostragem do sinal;

$\Delta a$  = número de amostras entre dois picos;

Recorrendo à equação anterior e a partir dos dados obtidos pelo sensor ECG do BITalino é possível calcular o ritmo cardíaco de um indivíduo a partir dos dados obtidos pelo sensor ECG. No entanto, e considerando que o resultado final é medido em batimentos por minuto, é necessário realizar um ajuste de unidades, isto é, a frequência de amostragem do sinal é expressa em Hz (ou amostras/s) e o número de amostras entre dois picos é expressa unitariamente (amostras). Assim, resolvendo a relação  $\frac{f_s}{\Delta a}$  obtém-se o número de picos por cada segundo e, conseqüentemente, multiplicando esse valor por 60 segundos obtém-se o valor correspondente a um minuto, que coincide com resultado que se deseja com a equação (1). Este valor é guardado e atualizado sempre que é encontrado um novo pico no valor da amplitude do sinal, que corresponde a um novo batimento cardíaco.

Por último, e após ser analisado todo o sinal, é apresentado um gráfico com todos os valores do ritmo cardíaco em cada instante, permitindo ao utilizador verificar a evolução do mesmo ao longo do tempo (ver Figura 4.8 (c)).

#### 4.4.2. Acelerómetro

À semelhança do ECG, também a análise dos sinais provenientes do acelerómetro envolve três componentes principais: (I) o pré-processamento; (II) a extração de características e (III) o cálculo do tempo e número de braçadas por volta. A Figura 4.11 ilustra o funcionamento do algoritmo para a análise de sinais do acelerómetro.

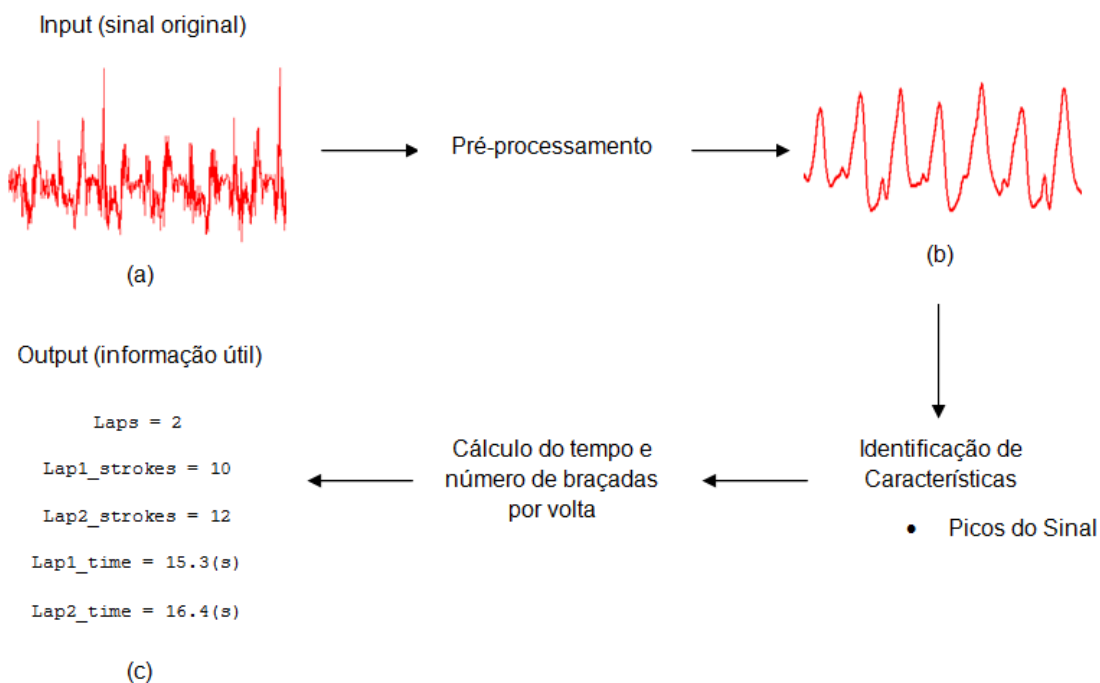


Figura 4.11 – Algoritmo para análise do sinal do Acelerómetro

## I. Pré-processamento

O pré-processamento tem como objetivo, como já foi referido, melhorar a definição dos dados obtidos através do acelerómetro, com vista a uma melhor leitura e interpretação do sinal. Para tal é fundamental aplicar um filtro que remova as frequências mais altas do sinal, normalmente provocadas por ruído e que não contêm qualquer informação útil à avaliação do desempenho do atleta. É ainda de notar que o acelerómetro recolhe a aceleração em três eixos, pelo que para analisar o perfil de aceleração do atleta foi calculado o respetivo módulo, segundo a seguinte fórmula:

$$|a| = \sqrt{ax^2 + ay^2 + az^2} \quad (3)$$

Onde:

$|a|$  = módulo da aceleração;

$ax$  = valor da aceleração no eixo longitudinal;

$ay$  = valor da aceleração no eixo transversal;

$az$  = valor da aceleração no eixo vertical.

Tendo em consideração a avaliação realizada no âmbito do pré-processamento do sinal ECG e visto ser uma técnica bastante eficiente na remoção de ruído sem afetar a informação útil, também nesta fase é utilizado um filtro passa-banda IIR *Zero Phase*. Consequentemente, neste caso não será utilizada apenas uma frequência de corte, mas sim um valor mínimo e um valor máximo de corte. Desta forma garante-se que são eliminados tanto os valores de alta frequência, que caracterizam o ruído do sinal, como os valores de baixa frequência, que como analisado anteriormente poderão ter implicações negativas na posterior análise do sinal.

Para a identificação das frequências de corte foram considerados os números mínimos e máximos de braçadas por cada 30 segundos que um nadador poderá realizar durante uma sessão de treino. Para a obtenção dos respetivos números contou-se com a ajuda do atual treinador do Clube de Natação do Colégio Vasco da Gama, Edgar Andrade. Tendo em conta a sua experiência e anos de contacto com diversos nadadores em inúmeras sessões de treino, foi realizado um levantamento dos limites máximos e mínimos para as quatro técnicas de natação analisadas nesta dissertação. A Tabela 4.3 mostra os respetivos valores em número de braçadas e em unidades de frequência (Hz).

**Tabela 4.3** – Valores Máximos e Mínimos da Frequência de Braçadas

Técnicas	Valor Mínimo		Valor Máximo	
	N.º de Braçadas (30 segundos)	Frequência (Hz)	N.º de Braçadas (30 segundos)	Frequência (Hz)
<b>Mariposa</b>	10	0,33	20	0,67
<b>Costas</b>	16	0,53	40	1,33
<b>Bruços</b>	8	0,27	16	0,53
<b>Crawl</b>	16	0,53	35	1,17

É de notar que os valores correspondentes às técnicas simultâneas são consideravelmente menores que os valores referentes às técnicas não simultâneas. Da tabela podemos também verificar que os valores máximos e mínimos para as técnicas de Costas e de *Crawl* são iguais, e que os valores das técnicas de Mariposa e Bruços diferem apenas duas braçadas no valor mínimo e quatro braçadas no valor máximo. Porém, a informação útil que se pode retirar da análise anterior são as frequências consideradas como máximas e mínimas para cada uma das técnicas, que diferem de técnica para técnica.

Pode-se então concluir que a frequência de corte utilizada nesta fase do processamento dos dados dependerá da técnica a analisar. Após esta etapa, estão reunidas as condições necessárias para extrair características do sinal necessárias à obtenção de informação pertinente, seguindo-se a segunda etapa do algoritmo.

## II. Identificação de características

À semelhança do sinal ECG, as braçadas e viragens realizadas pelo atleta distinguem-se pelos picos observados no valor da amplitude do sinal, pelo que o processo de obtenção de informação útil assemelha-se ao do algoritmo anterior. Esta etapa de extração de características do sinal caracteriza-se por isolar os picos do sinal que representam tanto braçadas como viragens.

Para este processo utiliza-se uma função disponível no ambiente de programação Matlab<sup>®</sup>, denominada de *Findpeaks*, que faz a identificação automática de picos num sinal. No entanto, para a utilização desta função é necessária uma análise prévia dos dados de forma a definir alguns parâmetros da função, nomeadamente a distância entre picos e a deteção de picos obtida com a utilização de um *threshold*.

Como descrito anteriormente a função tem como principal objetivo encontrar os máximos locais de um conjunto de dados. Adicionalmente, esta função permite acrescentar restrições à procura desses máximos, por exemplo, é possível escolher um *Threshold* abaixo do qual são ignorados máximos locais e uma distância mínima entre dois máximos consecutivos.

Para tal é indispensável saber o que distingue os picos respeitantes a braçadas dos picos respeitantes a viragens. Note-se que, as diferentes técnicas de natação têm características de nado bastante diferentes pelo que a operação de contagem de braçadas poderá diferir de técnica para técnica. Essa análise será realizada no Capítulo 5, onde será testado o aparelho dentro de água, durante a prática das quatro técnicas de natação.

### III. Cálculo de indicadores

Após a identificação e distinção das braçadas e das viragens, segue-se a última fase do algoritmo, o cálculo do tempo e número de braçadas por volta realizada pelo atleta. Para tal é necessário ter em conta o número de braçadas e o número de voltas efetuada.

Esse cálculo é realizado segundo a seguinte equação:

$$\text{Tempo de volta}(s) = \frac{\Delta a}{f_s} \quad (4)$$

Onde:

$\Delta a$  = número de amostras entre dois picos;

$f_s$  = frequência de amostragem do sinal;

Tendo sido identificados dois picos correspondentes ao início e fim de uma volta, isto é, de duas viragens consecutivas, é possível calcular o número de amostras entres estes dois valores da amplitude do sinal. Dividindo o número de amostras pela frequência de amostragem do sinal, ou seja, o número de amostras que o aparelho recolhe num segundo, é obtido o tempo correspondente a uma volta. Já para o cálculo do número de braçadas realizadas durante uma volta, basta contabilizar o número de braçadas entre duas viragens, isto é, contar o número de picos do sinal entre dois picos correspondentes a viragens. Após realizados os cálculos anteriores, toda a informação é sumariada ao utilizador como mostra a Figura 4.11 (c).

## 4.5. Conclusão

O sistema desenvolvido na presente Dissertação tem o BITalino como base para o seu protótipo. Este permite a aquisição de sinais a tempo real através de uma vasta gama de sensores, possibilitando assim reunir as condições necessárias para atingir um dos principais objetivos deste trabalho, o desenvolvimento de um novo sistema para a aquisição e análise de sinais na prática de natação.

Este dispositivo apresenta diversas opções de formatação e configuração sendo que a versão *Freestyle* é a que mais se adapta às necessidades identificadas neste projeto. Esta versão permite a criação de um aparelho compacto e facilmente adaptável à prática de natação sem deixar de parte a

capacidade de recolher sinais indispensáveis à avaliação do desempenho de um nadador, recorrendo ao sensor de ECG e ao acelerómetro. Porém, para a aquisição dos dados é necessário emparelhar o BITalino com uma estação base, que pode ser representada por um computador portátil ou por um *smartphone*. Em ambos os casos, o emparelhamento é garantido pelo *software* OpenSignals.

A versão *Freestyle* do BITalino e a estação base fazem parte integrante do sistema proposto no presente capítulo, no entanto, existe a necessidade de realizar o tratamento dos sinais por este adquiridos, de forma a apresentar informação útil ao treinador. Para esta análise são utilizadas as funcionalidades do *software* Matlab<sup>®</sup> e, conseqüentemente, dois algoritmos para análise dos dados adquiridos pelo sensor ECG e acelerómetro, respetivamente.

Dos algoritmos desenvolvidos especificamente para o presente projeto é de notar que ambos são compostos por três fases: o pré-processamento; a identificação de características do sinal e; o cálculo de indicadores. O pré-processamento tem como objetivo eliminar todo o ruído do sinal originalmente adquirido a partir do BITalino, de forma a facilitar a tarefa de análise de informação. A fase de identificação de características tem como finalidade detetar pontos fundamentais do conjunto de dados recolhidos, de forma a, posteriormente, torná-los em informação passível de análise. Finalmente a fase de cálculo de indicadores é caracterizada por um conjunto de iterações específicas para cada um dos casos, ECG e Acelerómetro, que tornam possível a análise do desempenho do atleta.

Em suma, neste capítulo são expostas as principais características do sistema proposto para a aquisição e análise de sinais para a prática de natação. De seguida serão expostos tanto os testes realizados para a avaliação do sistema proposto como os respetivos resultados, com a finalidade última de confirmar a adaptabilidade do dispositivo à prática de natação.

## Capítulo 5 - Testes e Resultados

---

Este capítulo tem como principal objetivo descrever os testes realizados ao protótipo do sistema proposto na secção anterior e analisar os principais resultados obtidos. Neste sentido, a Secção 5.1 apresenta uma breve introdução ao presente capítulo. De seguida, a Secção 5.2 expõe o procedimento utilizado durante a realização dos testes. Na Secção 5.3 são apresentados e analisados os resultados obtidos nas diferentes fases de testes e a Secção 5.4 apresenta as principais limitações do protótipo como dos testes realizados. Por último, na Secção 5.5 são resumidas as principais ideias do capítulo.

### 5.1. Introdução

O presente capítulo vem no seguimento do Processo de Desenvolvimento do Produto na medida em que, tal como foi analisado no Capítulo 2, permite avaliar o funcionamento do protótipo. Esta avaliação permite identificar os pontos fortes e fracos do produto com vista a otimizar o seu desempenho, ao melhorar as fraquezas e explorar o que de melhor o produto apresenta.

Assim, na presente Dissertação é utilizado o BITalino como protótipo, sendo este submetido a vários testes de modo a realizar uma avaliação ao seu desempenho e procurar acrescentar valor ao mesmo. Mais concretamente, neste capítulo são apresentados e descritos os testes realizados ao protótipo de um sistema que tem como principal objetivo preencher a necessidade do mercado identificada anteriormente. Na prática, são realizados testes em seco para avaliar o seu desempenho em condições normais de utilização, dado que o mesmo não foi inicialmente concebido para se utilizar dentro de água e, posteriormente são realizados testes em ambiente aquático, o que integra um dos objetivos finais da Dissertação.

### 5.2. Procedimento para Realização de Testes

Na presente secção serão apresentados todos os procedimentos realizados durante os testes, de forma a não só permitir uma futura replicação dos mesmos, como também garantir as mesmas condições que as conseguidas no âmbito desta fase do projeto. Assim, os testes estão divididos em duas partes, os testes realizados a seco e os testes realizados dentro de água. Estes testes têm como principal objetivo avaliar não só a aplicabilidade e o funcionamento do sistema em ambiente desportivo como também os sinais adquiridos e indispensáveis à determinação de parâmetros de avaliação do desempenho em natação.

A lógica de realização dos testes a seco recai sobre a necessidade de avaliar o dispositivo em condições normais de funcionamento, isto é, o BITalino foi desenvolvido para utilização em ambiente seco e em repouso, pelo que a execução de movimentos relacionados com a atividade física da natação não se incluem no âmbito da sua aplicação. Consequentemente, os primeiros testes realizados são em condições normais de utilização, isto é fora de água e em repouso.

Em segundo lugar, e antes da realização de testes dentro de água, são realizados testes fora de água mas com a movimentação por parte do atleta, por forma a avaliar a adaptabilidade do dispositivo a tais movimentos. Assim, os exercícios realizados pelos atletas assemelham-se aos



realizados dentro de água, aquando da prática das sessões de treino ou competições. Tais movimentos, descritos mais à frente, são parte integrante do treino fora de água.

Por último será testado o funcionamento do aparelho dentro de água, onde o principal objetivo é avaliar tanto a aplicabilidade de todo o sistema, incluindo a ligação com a placa base e o conforto do atleta, como também a qualidade dos dados obtidos, isto é, se a partir dos dados se consegue obter informação útil à avaliação do desempenho do atleta dentro de água.

A realização dos testes contou com a colaboração do Clube de Natação Colégio Vasco da Gama (CNCVG), local onde foram efetuados os mesmos. A piscina disponibilizada tem a dimensão de 25x12 metros e participaram dez atletas de alta-competição do sexo masculino com idades entre os 18 e os 26 anos e alturas entre 1,74 e 1,85 metros.

### 5.2.1. Testes a Seco

Os testes a seco têm como principal objetivo avaliar a adaptabilidade e o funcionamento do BITalino aplicado a um atleta.

1ª Fase – Funcionamento em repouso

2ª Fase – Funcionamento em movimento

Na primeira fase dos testes a seco são avaliados os sinais adquiridos pelo sensor ECG, já que a utilização do acelerómetro não fará sentido. É pedido aos atletas que permaneçam em repouso durante um minuto e através do sistema determina-se a evolução do ritmo cardíaco durante esse período de tempo.

Na segunda fase, são analisados os sinais adquiridos por ambos os sensores. Neste teste é pedido aos atletas que realizem dez repetições numa máquina de simulação de braçadas, visível na Figura 5.1. Em (a) o atleta está na posição inicial do movimento e em (b) está no ponto de conclusão da braçada, de seguida, este volta à posição inicial e assim termina uma repetição deste exercício. O sistema deverá ser capaz de verificar cada uma das repetições em ambos os casos ao mesmo tempo que monitoriza a atividade cardíaca.



Figura 5.1 - Máquina de Simulação de Braçadas

É de notar que a localização do sistema no atleta não é a mesma que a utilizada nos testes dentro de água, uma vez que o objetivo dos referidos testes é avaliar a capacidade do sistema adquirir dados em movimento e não a qualidade dos mesmos.

### **5.2.2. Testes Dentro de Água**

Os testes dentro de água têm como principal objetivo avaliar a aplicação do BITalino em ambiente aquático. Para tal são avaliados diversos parâmetros, nomeadamente a adaptabilidade do dispositivo no corpo do atleta dentro de água e a qualidade dos sinais adquiridos em diferentes etapas de uma sessão de treino. Deste modo, os testes serão divididos em três fases:

1ª Fase – Localização do dispositivo no atleta;

2ª Fase – Identificação de braçadas, partidas, viragens e chegadas.

Na primeira fase é pedido aos atletas que coloquem o equipamento em duas partes distintas do corpo, na cabeça e na cintura. Para cada uma das duas localizações é pedida a realização de 50 metros em cada uma das quatro técnicas. Durante esta primeira fase de testes em ambiente aquático, apenas será testado o conforto do atleta ao realizar os movimentos característicos das quatro técnicas. Para tal, este terá de identificar em qual das duas localizações se sente mais confortável. Neste sentido, o aparelho não irá transmitir informação, será apenas incorporado no atleta sem estar ligado ou sincronizado com a estação base.

Após a avaliação da melhor localização do dispositivo no corpo do atleta, segue-se a 2ª Fase de testes dentro de água, na qual é avaliada a capacidade de identificar braçadas, partidas, viragens e chegadas. Para tal, é pedido aos atletas que realizem 50 metros em cada uma das quatro técnicas de natação, mariposa, costas, bruços e *crawl*, com o aparelho colocado na localização identificada pelos atletas como a mais confortável.

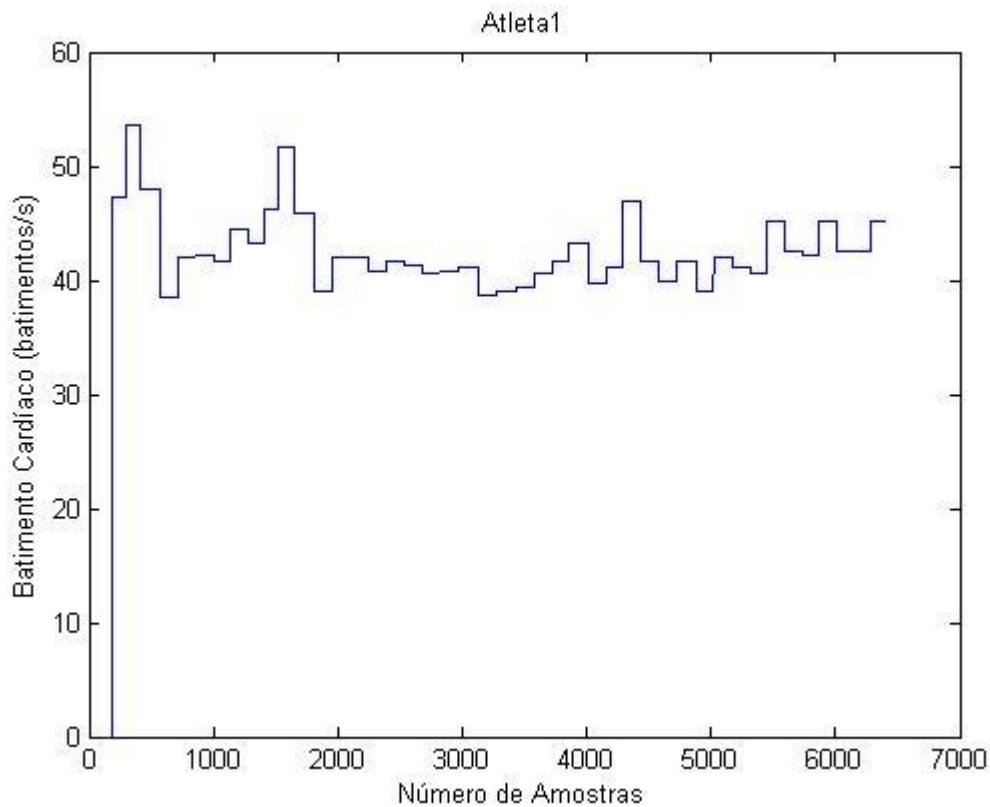
Considerando como principal objetivo avaliar a qualidade da informação adquirida pelo aparelho, será relevante verificar se a localização identificada na 1ª fase permite obter uma boa qualidade da informação. A partir da informação recolhida nesta fase de testes podem-se identificar padrões no perfil de movimentos dos atletas, de forma a avaliar o seu desempenho durante o percurso realizado.

### **5.3. Resultados dos Testes a Seco**

Como descrito anteriormente, os testes realizado em ambiente seco estão divididos em duas fases: funcionamento em repouso e funcionamento em movimento. Seguem os resultados de ambas.

#### **I. 1ª Fase – Funcionamento em repouso**

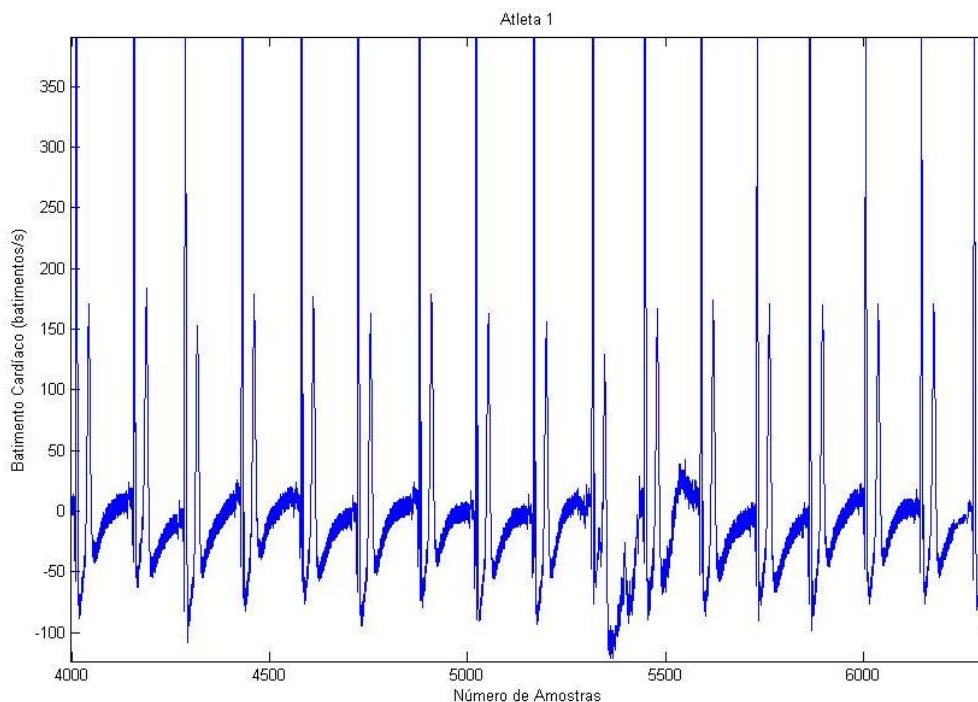
A primeira fase dos testes a seco tem como principal objetivo testar o funcionamento do dispositivo em repouso, mais concretamente a utilização do sensor ECG e o algoritmo para este desenvolvido. Na Figura 5.2 pode-se verificar o resultado obtido após esta primeira fase de testes com o Atleta 1.



**Figura 5.2 – Ritmo cardíaco do Atleta 1**

Como se pode observar o ritmo cardíaco do atleta manteve-se aproximadamente constante, isto é, muito próximo dos 40 batimentos por minuto. O mesmo se pode observar para os restantes atletas, podendo os dados adquiridos ser consultados no Anexo 1.

Devido ao facto de o atleta permanecer em repouso, os dados originalmente adquiridos a partir do sensor ECG praticamente não apresentam ruído, pelo que podem ser facilmente tratados e analisados. A Figura 5.3 mostra um exemplo dos sinais originalmente recebidos pela estação base nesta primeira fase dos testes a seco.



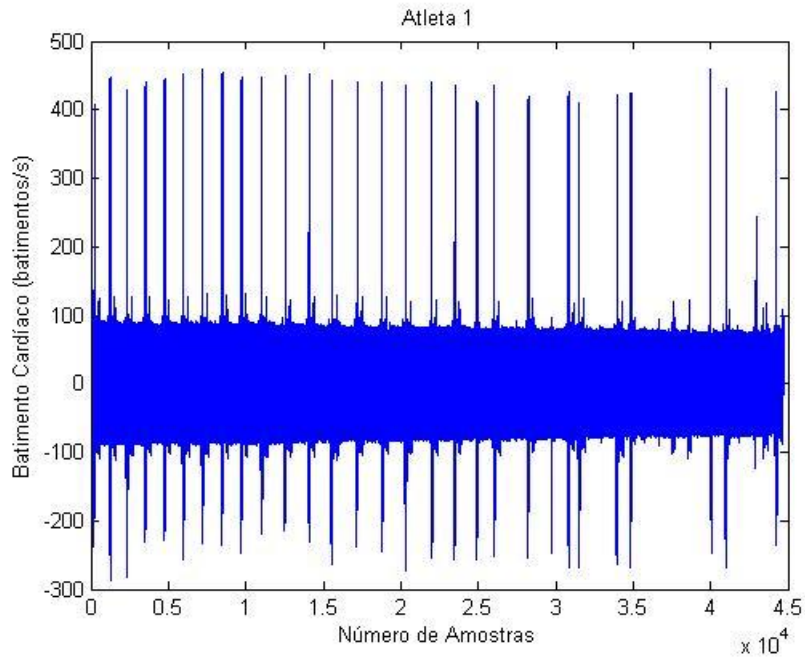
**Figura 5.3 – Dados ECG da 1ª Fase de testes a seco**

Como se pode verificar, são facilmente reconhecidos os picos do sinal que representam cada um dos batimentos cardíacos do atleta. Assim, a fase de identificação de características do sinal, prevista pelo algoritmo de análise de ECG descrito na secção 4.4.1, é facilmente processada. Consequentemente, o cálculo do ritmo cardíaco do atleta é realizado e apresentado graficamente, como anteriormente apresentado na Figura 5.2.

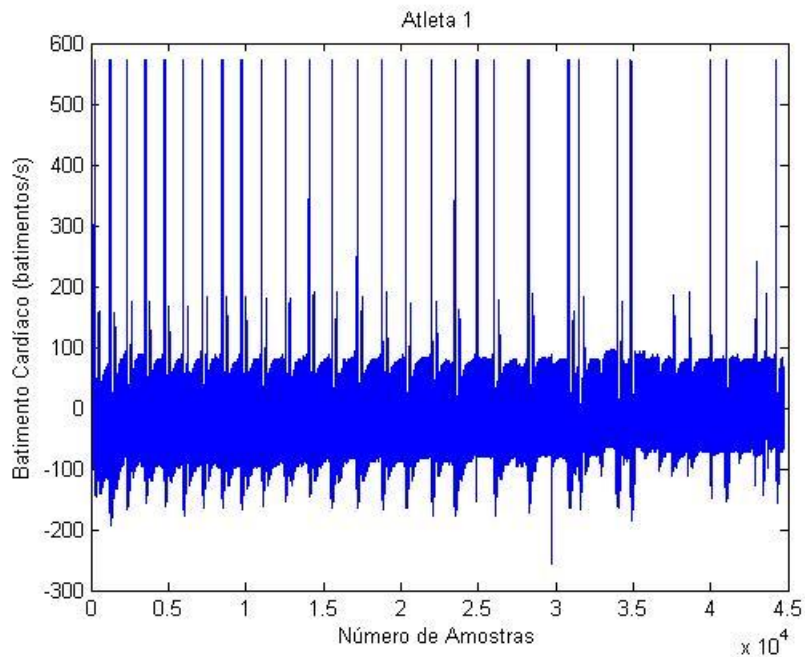
## **II. 2ª Fase – Funcionamento em movimento**

Numa segunda fase dos testes a seco foi pedido aos atletas que realizassem dez repetições numa máquina que simula de forma bastante próxima os movimentos realizados em ambiente aquático. Como referido anteriormente, o objetivo é adquirir um sinal da aceleração semelhante ao que será posteriormente recolhido dentro de água e o ritmo cardíaco dos mesmos enquanto executam os respetivos movimentos. Desta forma, é possível testar não só a capacidade do dispositivo recolher os sinais a partir de ambos os sensores como também os algoritmos desenvolvidos.

A Figura 5.4 representa os sinais originalmente obtidos pelo sensor ECG durante esta segunda fase de testes, enquanto que Figura 5.5 representa dos dados após a fase do pré-processamento.



**Figura 5.4 – Dados ECG antes da fase de pré-processamento**

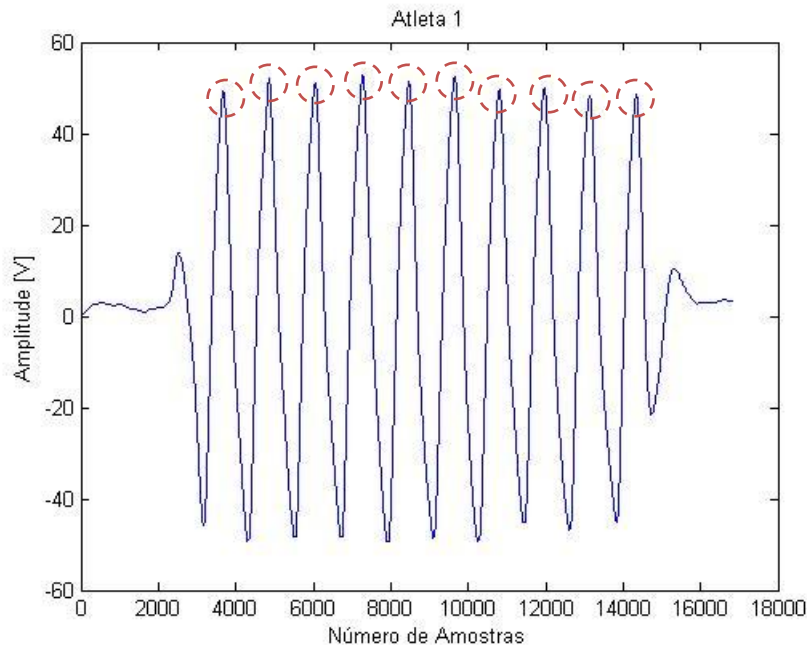


**Figura 5.5 – Dados ECG depois da fase de pré-processamento**

Em ambos os casos, antes e após a fase de pré-processamento, é facilmente visível que o sinal adquirido pelo sensor ECG durante a execução de movimentos por parte do atleta é representado por uma enorme quantidade de ruído, o que torna difícil a identificação de quaisquer características do sinal e apesar de serem distinguidas alguns dos batimentos cardíacos dos atleta, nem sem essa identificação é possível. Assim, pode-se concluir que não é possível calcular o ritmo cardíaco do atleta enquanto este executa movimentos, a partir do sistema proposto anteriormente. É de notar que a quantidade de ruído identificada nesta fase de testes é justificada principalmente pela atividade

muscular do atleta, anteriormente identificada na secção 4.4.1 como uma das principais fontes de ruído do sensor ECG. Adicionalmente, o ruído identificado poderá também estar relacionado com o contacto dos eléctrodos no banco da máquina de simulação de braçadas.

Na Figura 5.6 pode-se observar o gráfico referente ao módulo da aceleração do Atleta 1 durante a 2ª Fase dos testes a seco.



**Figura 5.6 – Braçadas do Atleta 1 na máquina de simulação**

Como se pode observar na Figura 5.6, são facilmente identificados os picos do sinal correspondentes às dez braçadas realizadas pelo atleta. Cada uma das braçadas corresponde a um pico no valor da amplitude do módulo da aceleração dos três eixos. Tendo sido identificadas as braçadas realizadas pelos atletas, são posteriormente contabilizadas a partir da função *Findpeaks* do Matlab®, a qual integra parte do algoritmo desenvolvido para a análise dos dados adquiridos pelo acelerómetro. Todos os dados relacionados com os restantes atletas encontram-se disponíveis no Anexo 2. Em todos os casos a identificação das dez braçadas foi realizada com sucesso.

Após a análise dos resultados obtidos a partir dos testes realizados em ambiente seco pode-se concluir que o BITalino permite adquirir sinais a partir do sensor ECG e do acelerómetro aplicados a um atleta. Verificou-se que, numa primeira fase de repouso é facilmente calculado o ritmo cardíaco do indivíduo monitorizado. Ao invés, é impossível calcular esse mesmo indicador de desempenho durante a execução dos movimentos na máquina de simulação de braçadas, devido ao ruído causado pela atividade muscular do atleta. No entanto, os dados obtidos a partir do acelerómetro na segunda fase dos testes a seco permitem identificar cada uma das braçadas realizadas pelo atleta na máquina de simulação, o que demonstra a capacidade de se aplicar o BITalino à prática desportiva.

Tendo sido analisados os resultados dos testes a seco, segue-se a respetiva análise dos resultados obtidos dos testes em ambiente aquático.

## 5.4. Resultados dos Testes na Água

Tal como os testes a seco, os testes realizados dentro de água estão divididos em duas fases: localização do dispositivo no corpo do atleta e identificação de braçadas, partidas, viragens e chegadas.

### I. 1ª Fase – Localização do dispositivo no atleta

Sendo esta primeira fase importante para a escolha da localização do BITalino no corpo do atleta, todos os dez atletas foram questionados acerca do conforto da utilização do aparelho em duas partes distintas, a cintura e a cabeça. A Figura 5.7 mostra a disposição do sistema nessas duas partes, respetivamente (a) e (b).



Figura 5.7 – Localização do sistema no corpo do atleta

Pode-se verificar que devido à natureza da bolsa utilizada para impermeabilizar o BITalino que a colocação da mesma na zona da cabeça tem maior tendência para criar desconforto no atleta. Por esta razão, e após a realização de 50 metros em cada uma das quatro técnicas, todos os atletas referiram que sentiram menos desconforto utilizando o aparelho na zona da cintura. Conclui-se desta primeira fase que essa será a localização utilizada na próxima fase de teste em ambiente aquático.

### II. 2ª Fase – Identificação de braçadas, partidas, viragens e chegadas

Tendo em consideração o resultado obtido na segunda fase dos testes realizados a seco, esta fase de identificação de braçadas, partidas, viragens e chegadas pressupõe que o acelerómetro permite realizar a aquisição do perfil de aceleração do atleta enquanto executa os movimentos dentro de água.

Adicionalmente, esta fase de testes foi realizada incorporando o sistema na zona da cintura. Porém, devido à natureza dos movimentos realizados pelos nadadores, esta zona do corpo encontra-se maioritariamente submersa, pelo que a ligação entre o BITalino e a placa base, até então

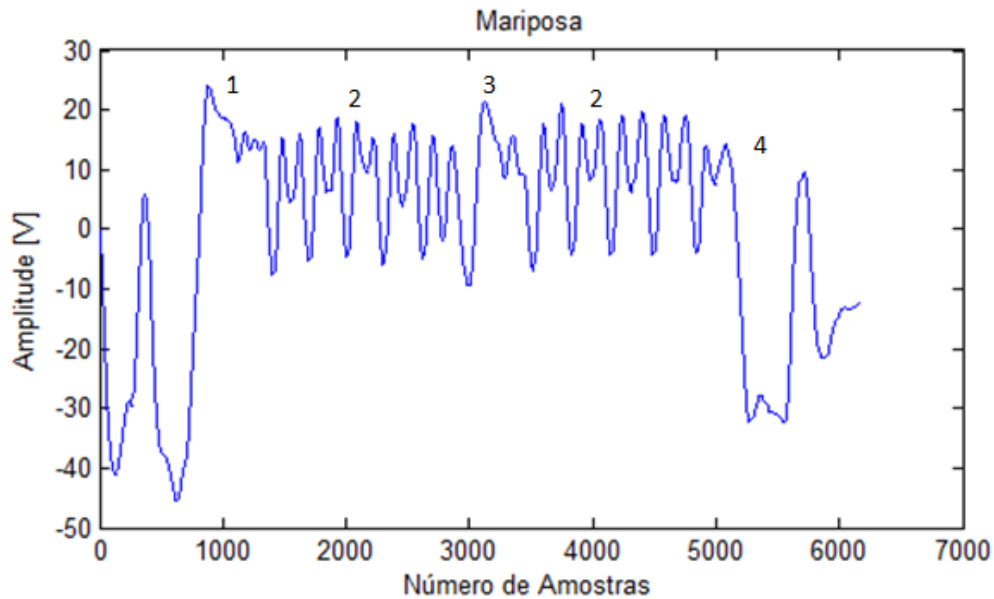
representada por um computador portátil, foi, em diversas tentativas, perdida durante o percurso realizado pelo atleta. De forma a solucionar este problema foi incorporado um *smartphone*, juntamente com o BITalino, dentro da bolsa estanque, visível na Figura 5.8. Apesar de aumentar substancialmente o peso e dimensões do sistema a transportar, todos os atletas concordaram que não sentiam dificuldades em realizar os movimentos dentro de água.



**Figura 5.8 – Smartphone incorporado na bolsa estanque**

Tendo sido solucionado o problema da comunicação entre o BITalino e a placa base foram realizados todos os testes previstos para esta fase de identificação de braçadas, partidas, viragens e chegadas. A Figura 5.9 representa graficamente o perfil de aceleração medida pelo sistema desenvolvido, durante um teste usando a técnica de mariposa pelo Atleta 1.





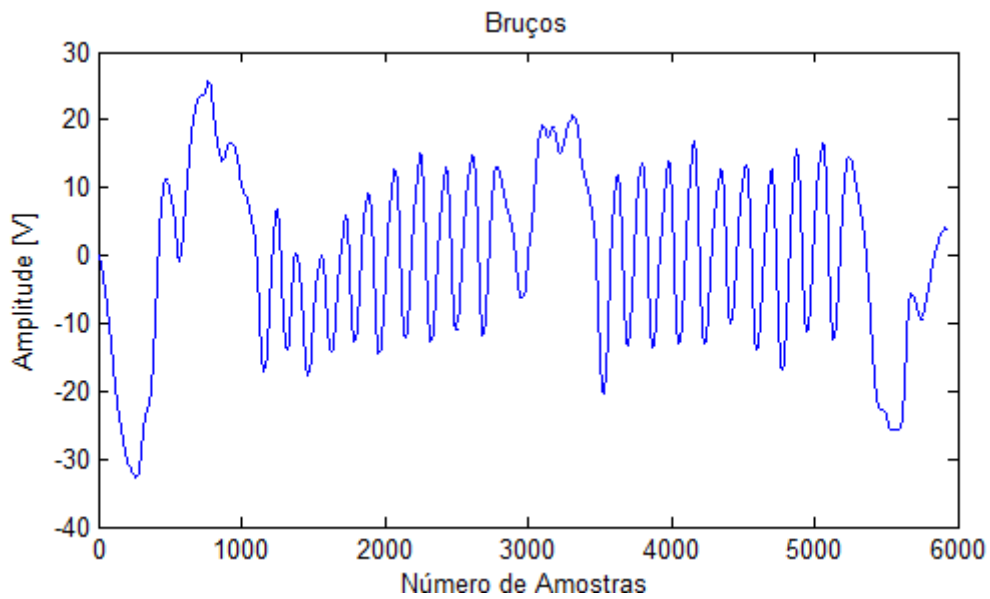
**Figura 5.9 – Perfil de aceleração da técnica de mariposa do Atleta 1**

A partir da Figura 5.9 podem-se identificar quatro momentos distintos durante o percurso efetuado pelo Atleta 1: o momento da partida, o nado contínuo, a viragem e a chegada; identificados respetivamente pelos números 1, 2, 3 e 4.

Começando pelo momento da partida, verifica-se que existe um aumento substancial no valor do módulo da aceleração. Este aumento poderá ser explicado principalmente pela variação da velocidade do atleta no momento inicial do percurso, uma vez que este empurra a parede de um dos lados da piscina.

Por sua vez, o nado contínuo desta técnica é caracterizado por dois momentos distintos, o momento da braçada seguido do momento da pernada. O gráfico acima permite visualizar ambos os momentos de forma cíclica. Neste caso em concreto pode-se verificar que o atleta realizou cinco ciclos em ambas as partes do percurso, isto é, antes e depois da realização da viragem. Igualmente evidenciada está a fase de viragem realizada a meio do percurso, onde se verifica um aumento do módulo da aceleração. Novamente, este aumento do valor pode ser explicado pelo movimento de empurrar a parede de uma das extremidades da piscina. Por último, na fase final do percurso pode-se verificar uma diminuição brusca do valor do módulo da aceleração, passando a ter valores negativos. Estes valores são explicados pelo forte impacto realizado pelo atleta ao chegar a uma das extremidades da piscina.

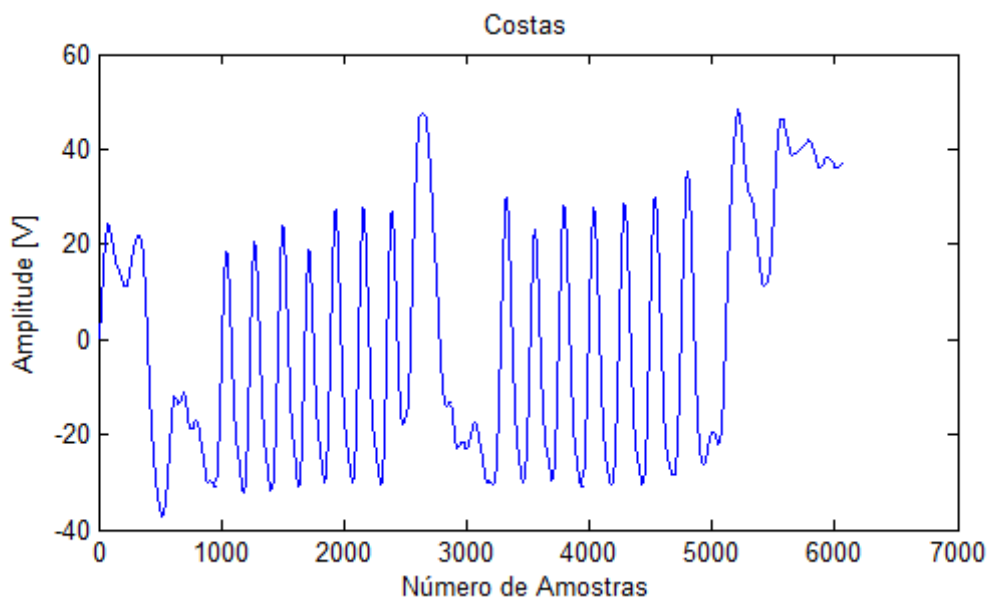
De uma forma análoga, podem-se verificar os mesmos quatro momentos identificados anteriormente no perfil de aceleração da técnica de bruços. Este perfil está representado pela Figura 5.10.



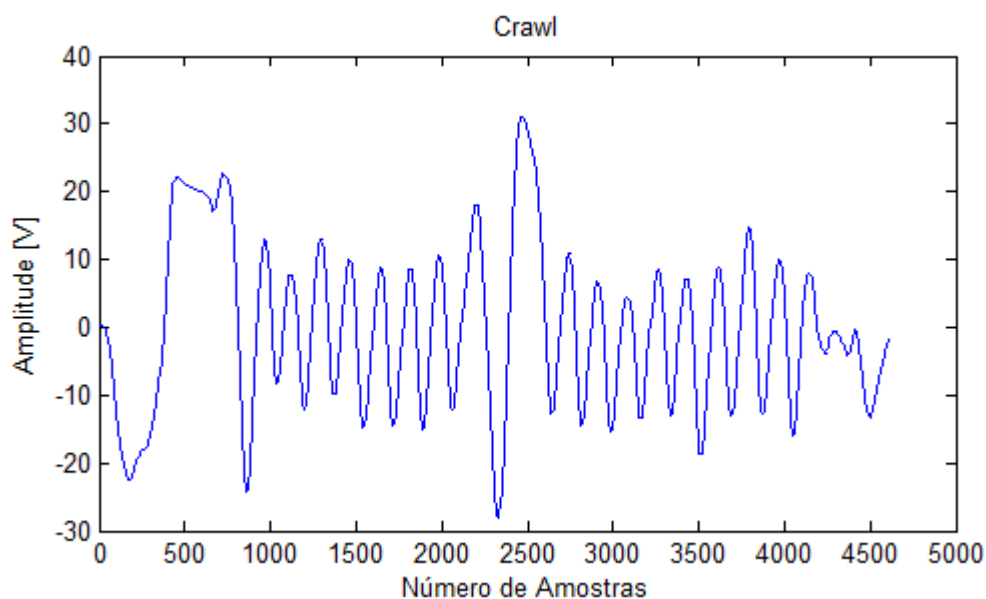
**Figura 5.10 – Perfil de aceleração da técnica de braços do Atleta 1**

Tanto a técnica de braços como a técnica de mariposa são técnicas simultâneas pelo que têm a mesma base de coordenação de movimentos. Desta forma o momento da chegada é realizado com ambos os membros superiores e daí se verificar uma descida abrupta do valor da aceleração do atleta.

Por outro lado, as técnicas de costas e de *crawl* partilham uma base de movimentos alternados e o momento de chegada é realizado apenas com um dos membros superiores. Assim, como ilustrado na Figura 5.11 e na Figura 5.12 respetivamente, não existe uma descida considerável no valor do módulo da aceleração. Porém, este momento pode ser identificado a partir da ausência dos movimentos cíclicos, isto é, deixam de ser identificadas as braçadas em ambos os casos.



**Figura 5.11 - Perfil de aceleração da técnica de costas do Atleta 1**



**Figura 5.12 - Perfil de aceleração da técnica de *crawl* do Atleta 1**

Tendo sido analisados os perfis de aceleração das quatro técnicas de natação referentes ao Atleta 1, pode-se concluir que visualmente são facilmente distinguidos os momentos de nado contínuo, partida, viragem e chegada, sendo que em todos os casos, o momento de nado contínuo é caracterizado pela repetição de vários movimentos cíclicos. Pode-se então concluir que é possível identificar e contabilizar o número de braçadas, partidas, viragens e chegadas a partir dos dados adquiridos pelo sistema proposto em ambiente aquático.

No entanto, nem todos os resultados obtidos foram igualmente satisfatórios, nomeadamente os perfis de aceleração da técnica de *crawl* referentes aos atletas 2, 4, 9 e 10 e o perfil de aceleração da técnica de mariposa do atleta 10, tornaram-se inconclusivos. Todos os resultados obtidos nesta fase de testes são graficamente visíveis no Anexo 3.

### **5.5. Limitações**

Apesar de terem sido concluídos com sucesso os testes propostos no presente capítulo, será importante analisar algumas limitações encontradas no decorrer dos mesmos. A saber:

**Número de amostras** – Durante a realização dos testes foi avaliado um total de dez nadadores. Idealmente e de forma a abranger um maior número de amostras, o número total de atletas deveria ser superior.

**Tecnologia dos sensores** – Como referenciado anteriormente, o dispositivo foi desenvolvido para utilização a seco e em repouso. No caso do sensor ECG utilizado, devido à sua natureza, não foi possível utilizá-lo dentro de água.

**Tecnologia de transmissão de dados** – o BITalino utiliza um módulo *Bluetooth* para estabelecer ligação com a estação base. Como verificado durante a segunda fase dos testes dentro de água, essa ligação é perdida quando o aparelho se encontra submerso e daí ter sido incorporado um *Smartphone* na bolsa estanque que acompanhou os atletas durante os percursos.

## 5.6. Conclusão

A fase de realização de testes ao sistema proposto no presente trabalho representa uma fase indispensável do Processo de Desenvolvimento de um Novo Produto. No presente capítulo foram expostos os diversos testes realizados, sendo estes divididos em dois grupos: testes a seco e testes dentro de água.

Tendo em consideração de que o BITalino foi desenvolvido para utilização em repouso, os testes a seco têm como principal objetivo avaliar a adaptabilidade do BITalino à prática desportiva e a sua capacidade de transmitir sinais utilizando o sensor ECG e o acelerómetro. Por esta razão, os testes a seco foram divididos em duas fases: funcionamento em repouso e funcionamento em movimento.

Adicionalmente, o BITalino foi desenvolvido para funcionar em ambiente seco, pelo que a sua aplicabilidade em ambiente aquático poderia resultar em diversas advertências. Assim, os testes dentro de água foram divididos em duas fases: Localização no corpo do atleta e identificação de braçadas, partidas, viragens e chegadas.

A partir dos testes a seco foi concluído que o sensor ECG não permite recolher informação sobre o ritmo cardíaco do atleta, uma vez que os sinais adquiridos são caracterizados por uma quantidade substancial de ruído. Este ruído é maioritariamente causado pela atividade muscular. No entanto, é possível identificar e contabilizar todos os movimentos realizados pelos atletas na máquina de simulação de braçadas a partir dos sinais adquiridos pelo acelerómetro.

Por sua vez, a primeira fase dos testes dentro de água permitiram identificar que a localização do aparelho na zona da cintura causa menos desconforto que na zona da cabeça. Numa segunda fase foi concluído que a partir dos dados adquiridos pelo acelerómetro é possível identificar quatro fases distintas no perfil de aceleração das quatro técnicas de natação.

Por último, o reduzido número de amostras, a impossibilidade do sensor ECG ser submerso e a incompatibilidade da conexão via *Bluetooth* com o ambiente aquático representam o conjunto de limitações encontradas e tidas em conta durante a realização dos testes ao protótipo.

## Capítulo 6 - Conclusão Final e Trabalho Futuro

---

A natação pura desportiva enquanto desporto de competição é uma modalidade que exige aos praticantes um domínio de técnicas por vezes contrárias à intuição humana. Na verdade, o desempenho de um nadador depende fortemente da aplicação correta da sua força dentro de água, isto é, da técnica com que executa os seus movimentos. Assim, a avaliação do desempenho de um nadador é essencial ao seu desenvolvimento e é tipicamente realizada segundo a supervisão de um treinador. No entanto, este está limitado em relação ao seu campo de visão e à quantidade de nadadores que consegue monitorizar de uma vez. Por esta razão, as câmaras de vídeo, nomeadamente as subaquáticas, são normalmente usadas como ferramenta de apoio à recolha e análise de informação do desempenho de um nadador. Porém, estas requerem um elevado consumo de tempo e não permitem a intervenção do treinador em tempo real.

Na última década têm sido implementados sensores de pequenas dimensões, sobretudo acelerómetros, em sistemas de monitorização da atividade na natação. Tais sensores permitem a aquisição de dados do perfil de aceleração de um nadador, os quais possibilitam o cálculo de diversos indicadores, fundamentais à avaliação do desempenho do atleta. No entanto, grande parte dos sistemas até hoje desenvolvidos requer o processamento da informação após a atividade física, resultando numa ausência de produtos de monitorização capazes de informar o treinador em tempo real. Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo justificar a necessidade de desenvolver um novo produto com as características referidas que o tornam uma ferramenta vantajosa tanto para o treinador como para o atleta.

No Capítulo 2 realizou-se uma revisão sobre os principais processos de desenvolvimento de um novo produto. Foi primeiramente introduzido o *Product Development Funnel* que é considerado pela literatura como o modelo genérico. Foram posteriormente analisadas as etapas genéricas, destacando-se a primeira *Fuzzy Front-end*, responsável pela identificação de oportunidades e geração de ideias. Ainda neste capítulo foram expostas algumas das vertentes do modelo genérico do desenvolvimento do produto, sendo o *Stage-Gate Process* o mais utilizado devido à sua flexibilidade e fácil aplicação.

O Capítulo 3, por um lado, apresenta alguns conceitos fundamentais a uma melhor compreensão da natação enquanto desporto de alta competição e o papel do treinador no desenvolvimento de atletas desta modalidade. Por outro lado, e como foi analisado no Capítulo 2 o processo do desenvolvimento de um novo produto inicia-se pela identificação de oportunidades de negócio através de um bom conhecimento do mercado e produtos nele existentes, assim, o Capítulo 3 tinha como finalidade última apresentar uma revisão bibliográfica, não só dos sistemas de monitorização da natação existentes, mas também das suas principais características, nomeadamente, os principais indicadores de desempenho obtidos, os tipos de sensores utilizados e respetiva colocação no corpo do atleta.

No Capítulo 4 foi proposto um sistema de monitorização da atividade de um nadador. Este sistema é passa pela aplicação do BITalino à prática desportiva recorrendo a um sensor ECG e a um

acelerómetro. Estes sensores permitem adquirir dados sobre o batimento cardíaco e o perfil de aceleração de um atleta. A partir desses dados é possível extrair indicadores de desempenho como o ritmo cardíaco e o número de braçadas realizadas durante a atividade desportiva.

De acordo com o Processo de Desenvolvimento de um Novo Produto, no Capítulo 5 foram descritos os procedimentos para a realização de testes ao protótipo desenvolvido. Adicionalmente, de forma a avaliar a aplicabilidade e desempenho do aparelho em ambiente desportivo, os testes foram divididos em dois grupos: testes a seco e testes dentro de água. Em primeiro lugar, nos testes a seco verificou-se que não foi possível adquirir dados sobre o batimento cardíaco do atleta enquanto este movimentos, no entanto, o respetivo perfil de aceleração permitiu calcular com êxito o número de repetições realizadas. Posteriormente, os testes dentro de água revelaram que a localização do aparelho na zona da cintura representa um cenário de menor desconforto para os atletas que a localização na zona da cabeça. Adicionalmente, verificou-se que em grande parte dos casos conseguiu-se identificar características do perfil de aceleração dos atletas indispensáveis para o cálculo de indicadores, tais como braçadas, partidas, viragens e chegadas.

Em suma, neste projeto foi possível concluir que o sistema proposto permite adquirir informação útil à avaliação do desempenho de um atleta de natação. Dos testes realizados concluiu-se que tanto em ambiente seco como em ambiente aquático a informação adquirida sobre o perfil de aceleração dos atletas permite identificar características fundamentais para o cálculo de indicadores de desempenho.

Como perspetiva de um trabalho futuro, é relevante mencionar várias questões. De maior relevância, o presente estudo carece de uma análise de mercado, fase que integra a última etapa do Processo de Desenvolvimento do Produto genérico. Após a realização de testes ao protótipo, este deverá passar por um processo de avaliação da sua aceitação no mercado. Para tal deverão ser analisados alguns fatores, como por exemplo a dimensão do mercado alvo, o nível de aceitação do produto no mercado e o *design* do mesmo.

Ainda como proposta de melhoria futura, e de forma a colmatar algumas das limitações verificadas no presente trabalho, poderá ser realizado um levantamento de duas de duas questões. Em primeiro lugar, analisar as técnicas de transmissão de informação em ambiente subaquático existentes e avaliar a sua aplicabilidade ao protótipo aqui apresentado. Por outro lado, será relevante investigar sobre os sensores ECG que possibilitam a recolha de informação sobre o batimento cardíaco de um indivíduo dentro de água.

## Bibliografia

AquaPulse, 2013. *Finis*. [Online]

Available at: <http://www.finisinc.com/eu/aquapulse-heart-rate-monitor.html>

[Acedido em 28 Dezembro 2013].

Bachlin, M., Forster, K. & Troster, G., 2009. *SwimMaster: A wearable assistant for swimmer*. Orlando, Florida, s.n.

Banzi, M., 2009. *Getting Started with Arduino*. s.l.:O'Reilly Media.

Biosignalsplux, 2013. *Biosignalsplux*. [Online]

Available at: <http://www.biosignalsplux.com/downloads/opensignalsbit/manual.html>

[Acedido em 15 Março 2014].

BITalino, 2013. *BITalino: Anatomy of a Bitalino*. [Online]

Available at: <http://www.bitalino.com/>

[Acedido em 15 Março 2014].

Callaway, A. J., Cobb, J. E. & Jones, I., 2009. A Comparison of Video and Accelerometer Based Approaches Applied to Performance Monitoring in Swimming. *International Journal of Sports Science & Coaching*, Volume 4, pp. 139-153.

Chakravorti, N. et al., 2013. Design and Implementation of an Integrated Performance Monitoring Tool for Swimming to Extract Stroke Information at Real Time. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 43(2), pp. 199-213.

Clark, K. B. & Wheelwright, S. C., 1993. *Managing New Product and Process Development: Text and Cases*. New York: The Free Press.

Cooper, R. G., 1983. The Impact of New Product Strategies. *Journal of Industrial Marketing Management*, 12(4), pp. 243 - 256.

Cooper, R. G., 1993. *Winning at New Products: Accelerating the Process from Idea to Launch*. 2ª Edição ed. s.l.:Addison-Wesley Publishing.

Cooper, R. G., 2008. Perspective: The Stage-Gate Idea-to-Launch Process - Update, What's New, and NexGen Systems. *The Journal of Product Innovation Management*, Volume 25, pp. 213-232.

da Silva, H. P., Lourenço, A., Fred, A. & Martins, R., 2014. BIT: Biosignal Igniter Toolkit. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 115(1), pp. 20-32.

Davey, N., Anderson, M. & James, D. A., 2008. Validation Trial of an Accelerometer-based Sensor Platform for Swimming. *Sports Technology*, Volume 1, pp. 202-207.

Figueiredo, C., 2010. *A Natação*, s.l.: Centro de Treino do Clube Fluvial Vilacondense.

Garmin, 2013. *Garmin*. [Online]

Available at: <http://www.buy.garmin.com>

[Acedido em 5 Novembro 2013].

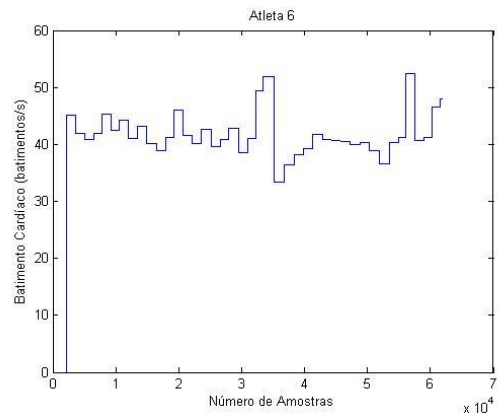
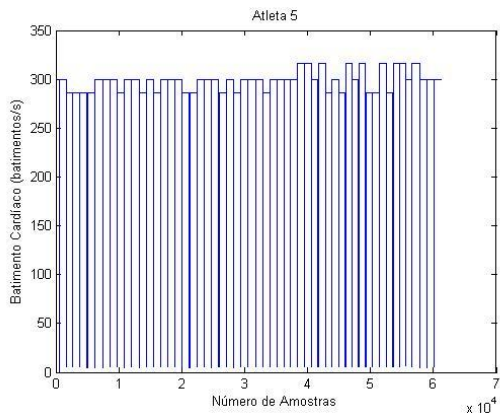
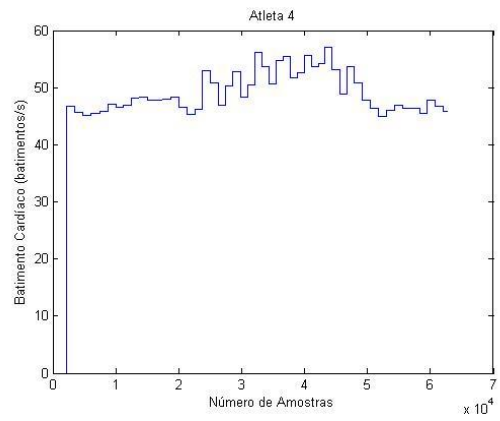
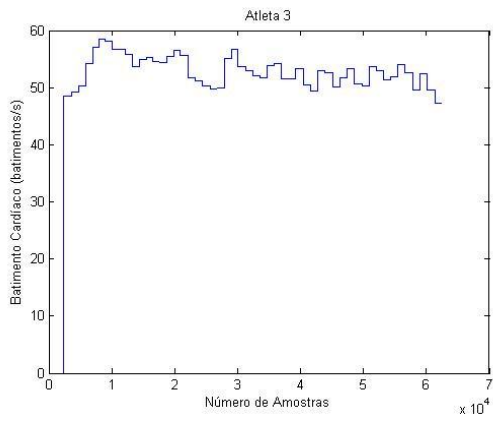
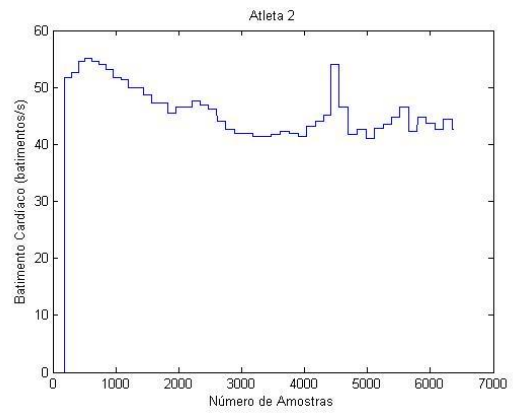
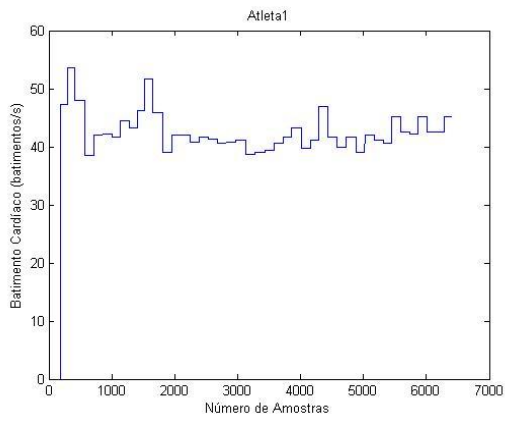
- Griffin, A., 1997. PDMA Research on New Product Development Practices: Updating Trends and Benchmarking Best Practices. *Journal of Product Innovation Management*, Volume 14, pp. 429 - 458.
- Hagem, R. M., O'Keefe, S. G., Fickenscher, T. & Thiel, D. V., 2012. Optical Wireless Communication for Real Time Swimmers Feedback: A Review. *International Symposium on Communications and Information Technologies*, pp. 1080-1085.
- Hagem, R. M., O'Keefe, S. G., Fickenscher, T. & Thiel, D. V., 2013. Self Contained Adaptable Optical Wireless Communications System for Stroke Rate During Swimming. *IEEE Sensors Journal*, Volume 13, pp. 3144-3151.
- Hauser, J., Tellis, G. J. & Griffin, A., 2006. Research on Innovation: A Review and Agenda for Marketing Science. *Marketing Science*, 25(6), pp. 687-717.
- Hemingway, B. & Ranganathan, N., 2013. *Computer Science and Engineering University of Washington*. [Online]  
Available at:  
<http://courses.cs.washington.edu/courses/cse466/13au/pdfs/lectures/ECG%20filtering.pdf>  
[Acedido em 20 4 2014].
- Henard, D. H. & Szymanski, D. M., 2001. Why Some New Products Are More Successful Than Others. *Journal of Marketing Research*, XXXVIII(38), pp. 362 - 375.
- Hobeika, H. et al., 2013. *Instabeat*. [Online]  
Available at: <http://www.instabeat.me>  
[Acedido em 23 Outubro 2013].
- James, D. A., Davey, N. & Rice, T., 2004. *An Accelerometer Based Sensor Platform for Insitu Elite Athlete Performance Analysis*. Australia, IEEE.
- Kaur, M., Singh, B. & Seema, 2011. Comparison of Different Approaches for Removal Baseline Wander from ECG Signal. *International Journal of Computer Application*, pp. 30-36.
- Kaur, M., Singh, B. & Seema, 2011. *Comparison of Different Approaches for Removal of Baseline Wander from ECG Signal*. s.l., International Journal of Computer Applications.
- Khoo, B. H., Lee, B. K. J., Arosha Senanayake, S. M. N. & Wilson, B. D., 2009. *System for Determining Within-Stroke Variations of Speed in Swimming (SWiSS)*. Singapore, IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics.
- Kim, J. & Wilemon, D., 2002. Focusing the fuzzy front-end in new product development. *R&D Management*, 32(4), pp. 269 - 277.
- Koen, P. A. et al., 2002. Fuzzy Front End: Effective Methods, Tools, and Techniques. In: *The PDMA Toolbook for New Product Development*. New York: John Wiley & Sons, pp. 5 - 35.
- Li, X., 2010. *Real-time swimming monitor*. U.S., Patente N.º 0030482.
- Lord, C., 2008. *FINA Centenary Book*. s.l.:FINA.

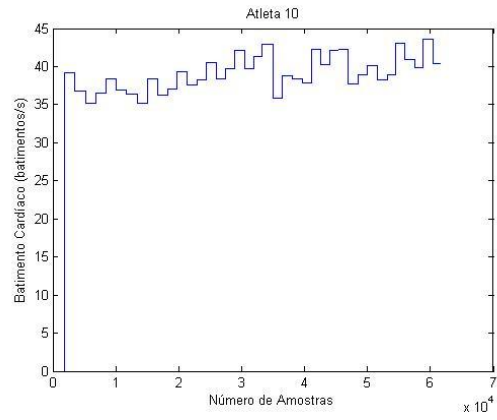
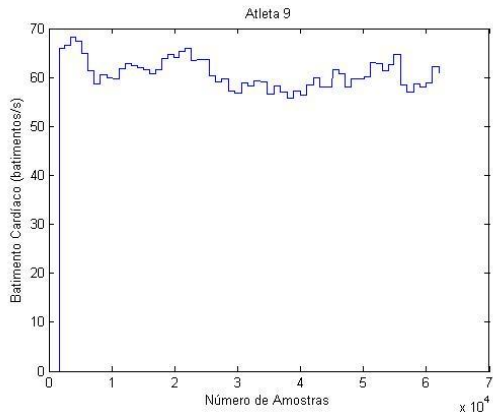
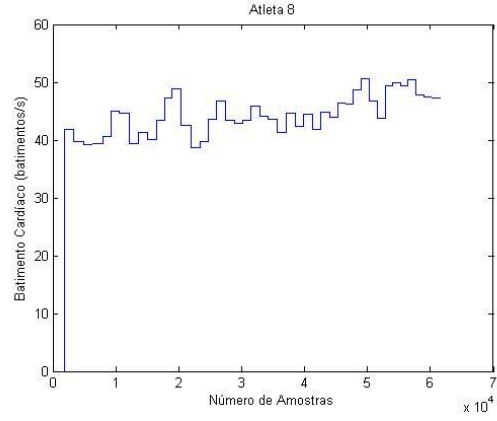
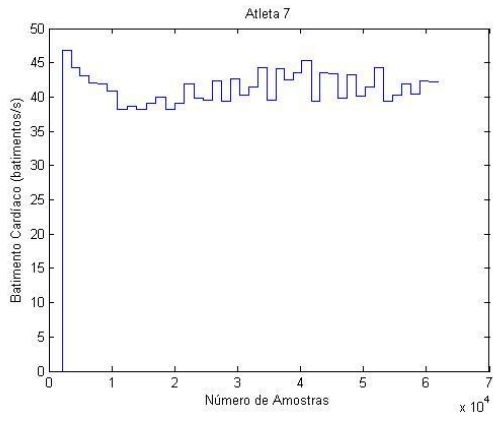


- Ohgi, Y., 2002. *Microcomputer-based Acceleration Sensor Device for Sports Biomechanics - Stroke Evaluation by using Swimmer's Wrist Acceleration*. Fujisawa, Kanagawa, Japan, Faculty of Environmental Information/Keio Univ..
- Pansiot, J., Lo, B. & Yang, G.-z., 2010. Swimming Stroke Kinematic Analysis with BSN. *International Conference on Body Sensor Network*, pp. 153-158.
- Polar, 2013. *Polar*. [Online]  
Available at: [http://www.polar.com/us-en/products/get\\_active/fitness\\_crosstraining/FT1](http://www.polar.com/us-en/products/get_active/fitness_crosstraining/FT1)  
[Acedido em 28 Dezembro 2013].
- Rhodes, M. T., 2013. *Livestrong*. [Online]  
Available at: <http://www.livestrong.com/article/166752-heart-rate-during-swimming/>  
[Acedido em 23 Dezembro 2013].
- Sage, T. L. et al., 2010. *A Component Based Integrated System for Signal Processing of Swimming Performance*. Athens, Signal Processing and Multimedia Applications (SIGMAP).
- Silva, A. S., Salazar, A. J., Borges, C. M. & Correia, M. V., 2012. Wearable Monitoring Unit for Swimming Performance Analysis. *CCIS*, Issue 273, pp. 80-93.
- Silva, H. P. d. et al., 2014. *BITalino: A Novel Hardware Framework for Physiological Computing*. Lisboa, Portugal, Proc International Conf. Physiological Computing Systems.
- Slawson, S. E. et al., 2008. Accelerometer Profile Recognition of Swimming Strokes. In: *The Engineering of Sport 7*. s.l.:Springer, pp. 81-87.
- Sornmo, L. & Laguna, P., 2006. Electrocardiogram (ECG) Signal Processing. In: *Wiley encyclopedia of Biomedical Engineering*. s.l.:John Wiley & Sons, Inc..
- SwimSense, 2013. *Finis*. [Online]  
Available at: <http://www.finisinc.com>  
[Acedido em 5 Novembro 2013].
- Tella, V. et al., 2008. Effect of Fatigue on the Intra-cycle Acceleration in Front Crawl Swimming: A Time-frequency Analysis. *Journal of Biomechanics*, Volume 41, pp. 86-92.
- USA Swimming, 2010. *USA Swimming/Member Resources/Coaches: The Role of the Coach*. [Online]  
Available at:  
<http://www.usaswimming.org/ViewMiscArticle.aspx?TabId=1781&mid=7897&ItemId=5362>  
[Acedido em 15 Outubro 2013].
- Wolfe, L. M., 2013. *Livestrong*. [Online]  
Available at: <http://www.livestrong.com/article/412692-the-best-waterproof-heart-rate-monitor/>  
[Acedido em 23 Dezembro 2013].

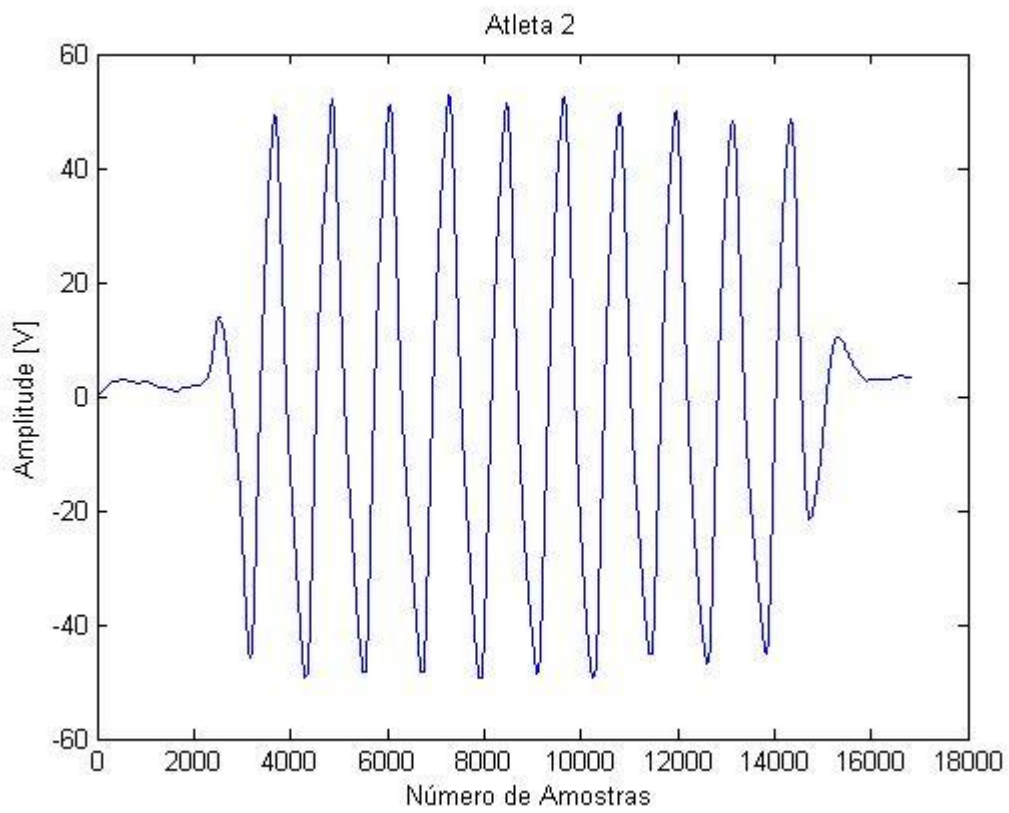
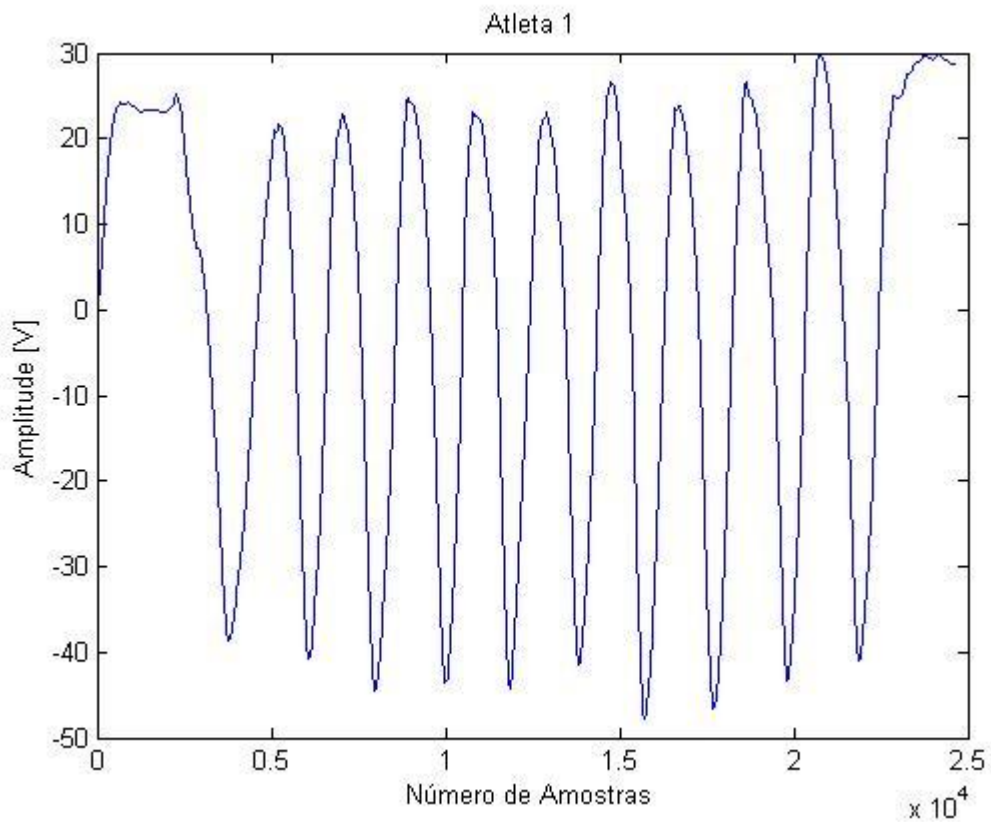
# Anexos

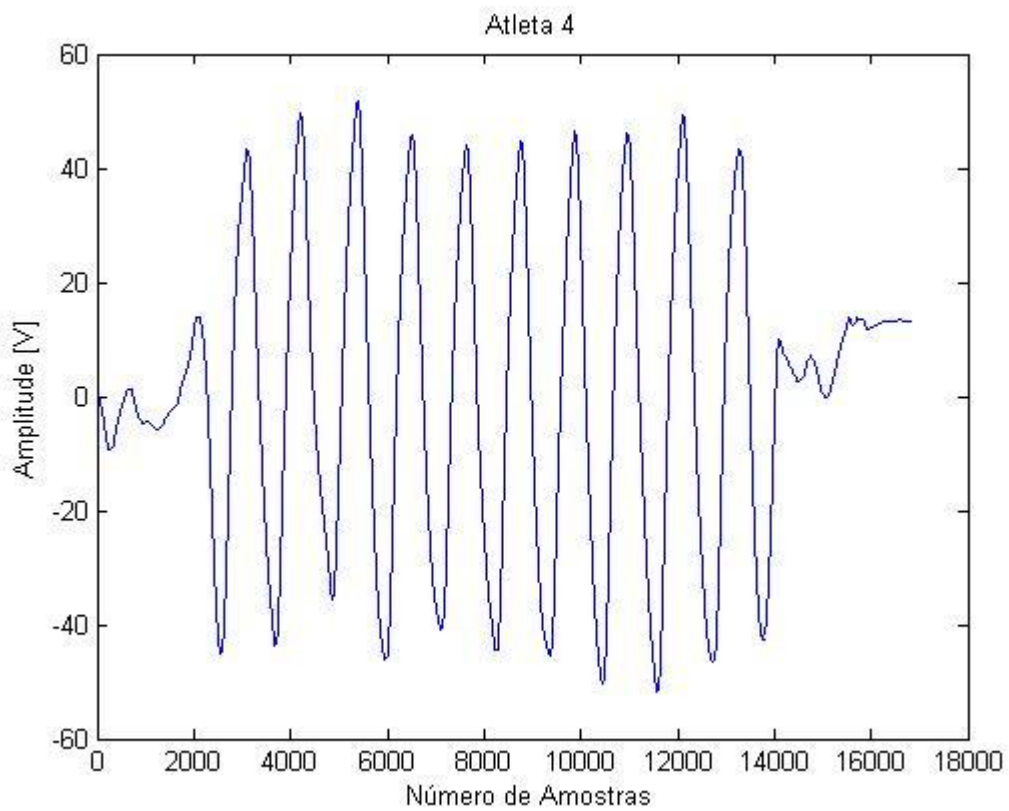
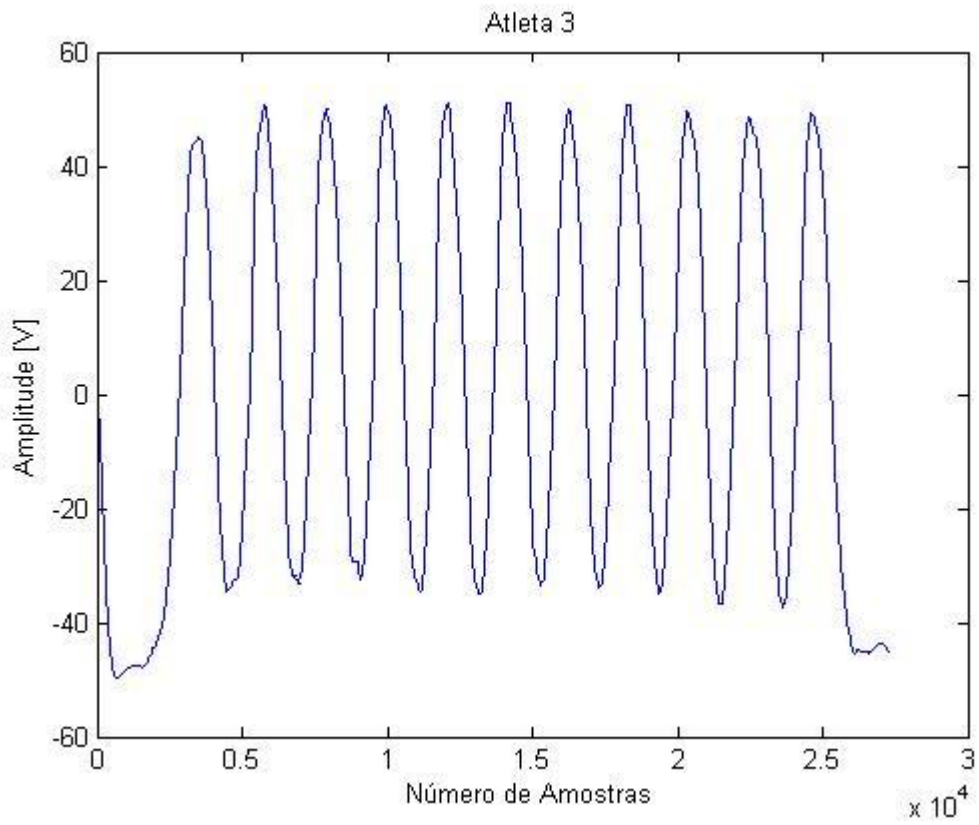
## Anexo 1 – Ritmo cardíaco dos atletas

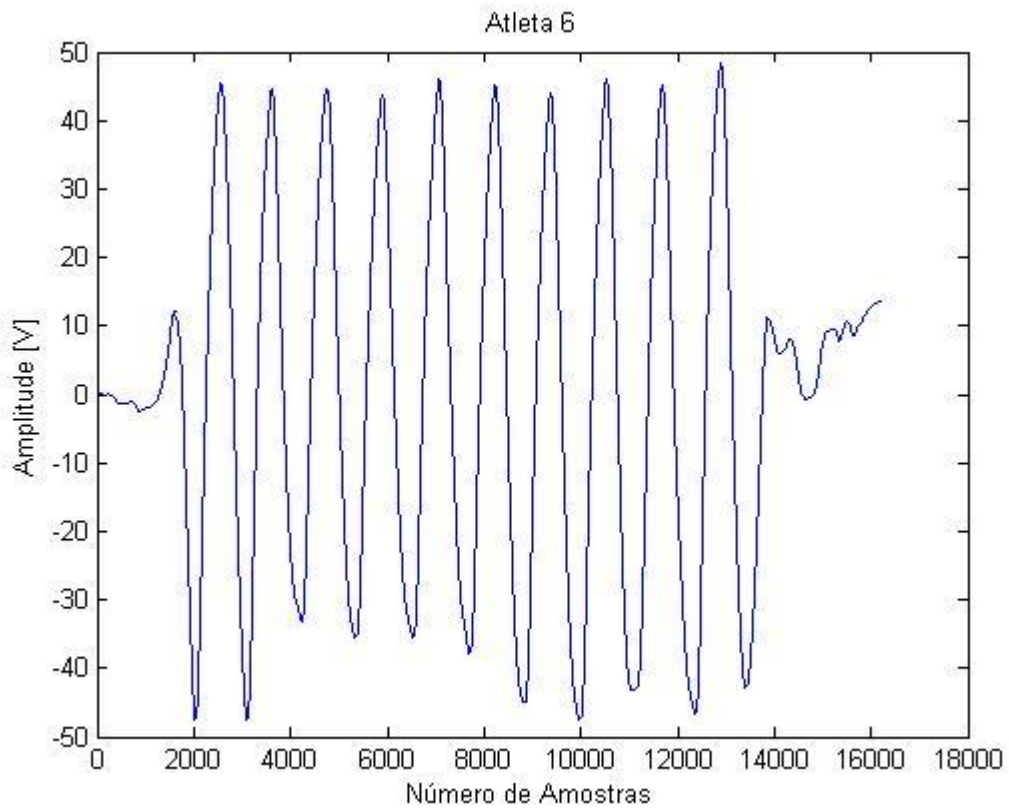
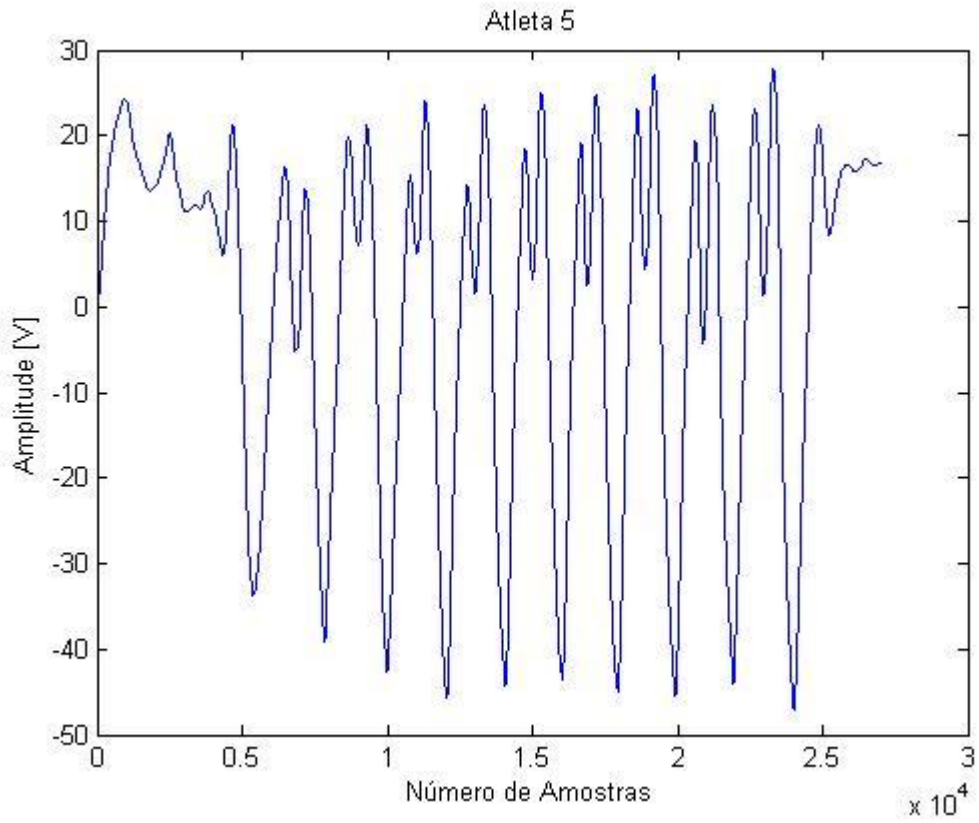


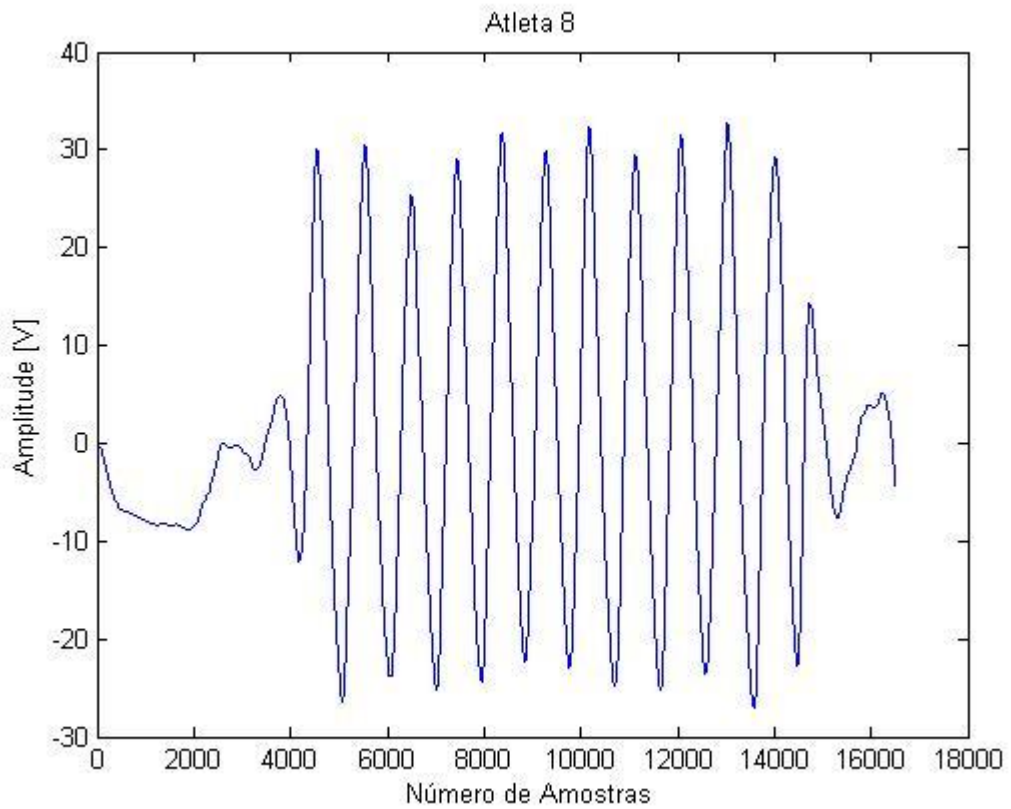
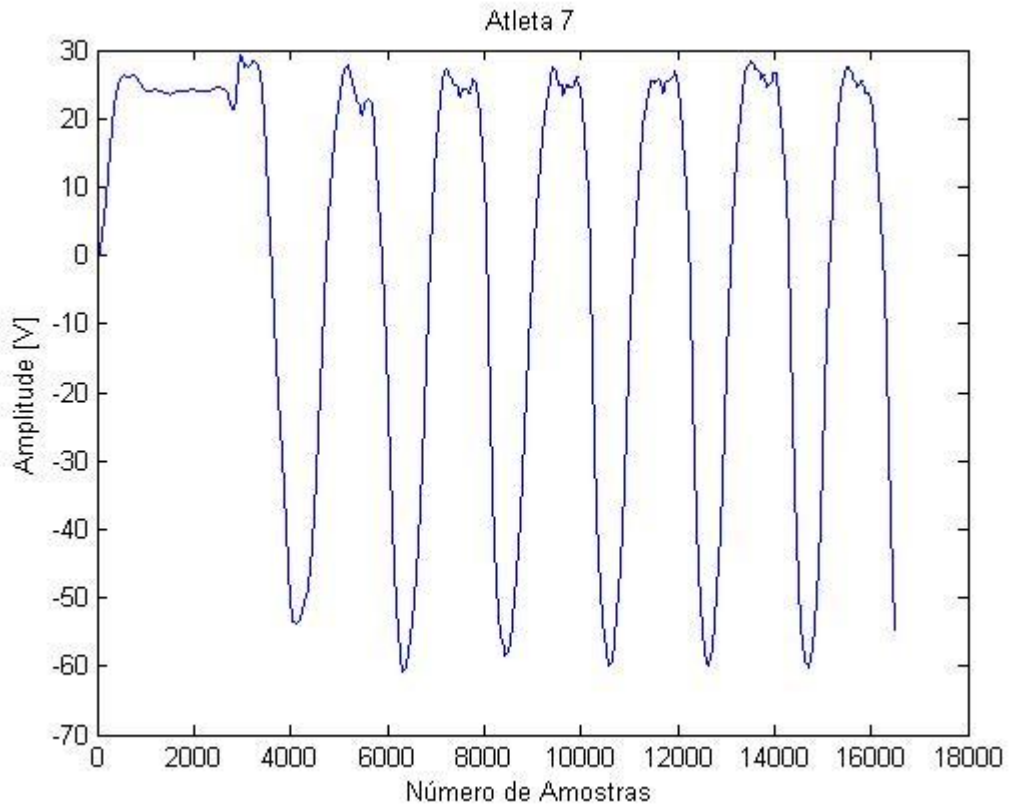


## Anexo 2 – Perfil de aceleração dos atletas na máquina de simulação



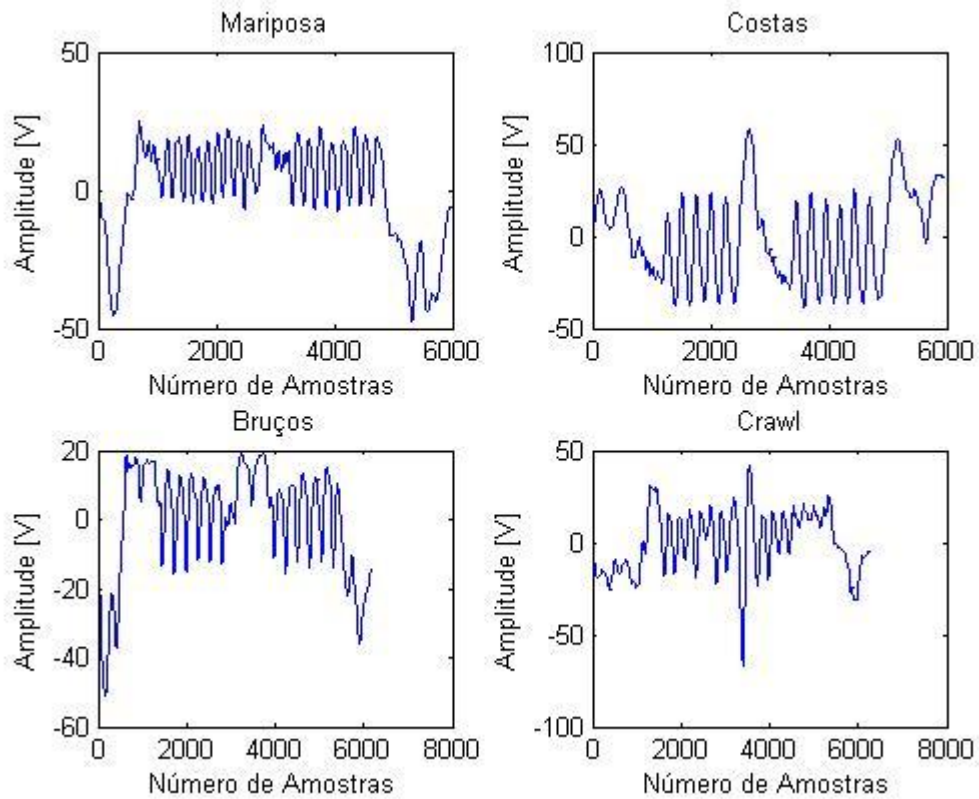




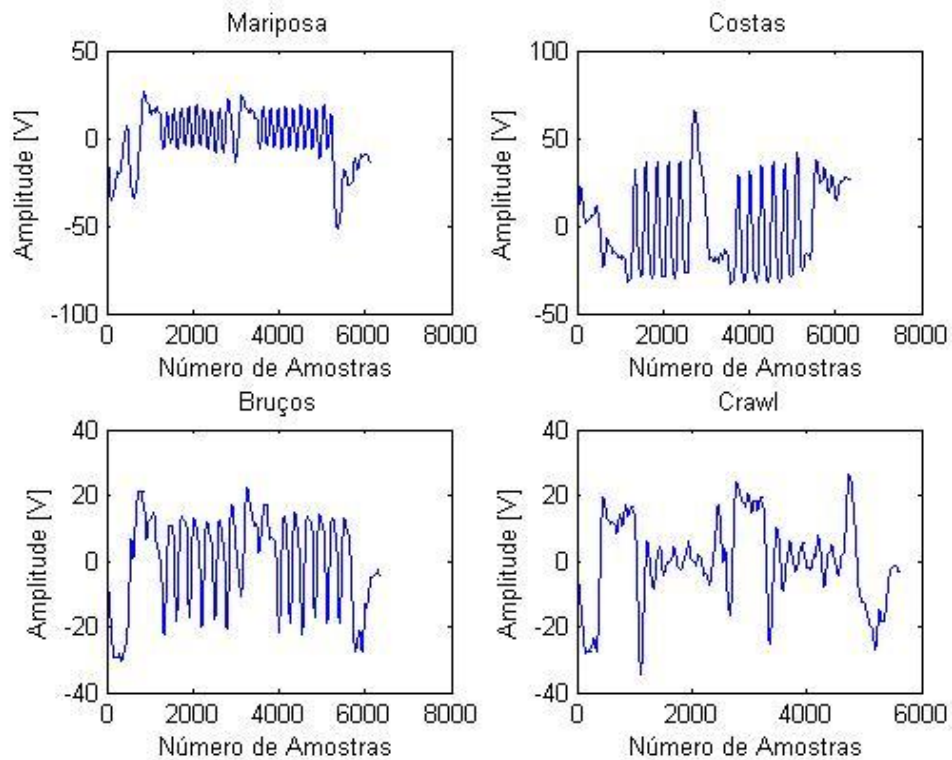


### Anexo 3 – Perfil de aceleração dos atletas nas quatro técnicas de natação

Atleta 1

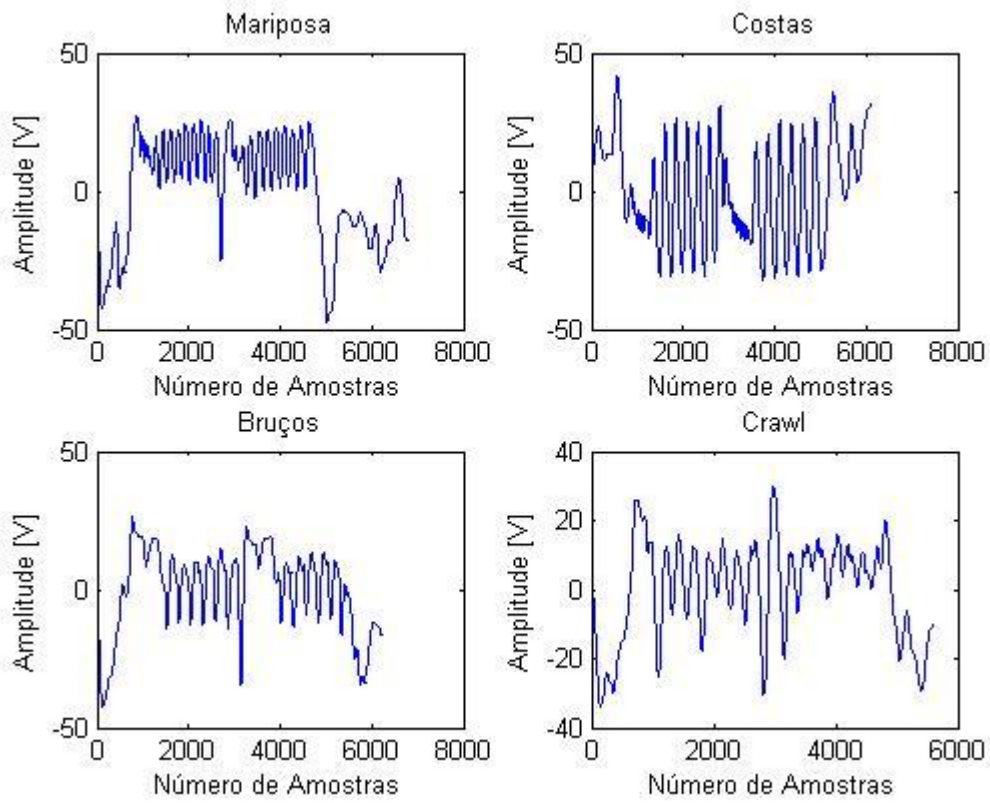


Atleta 2

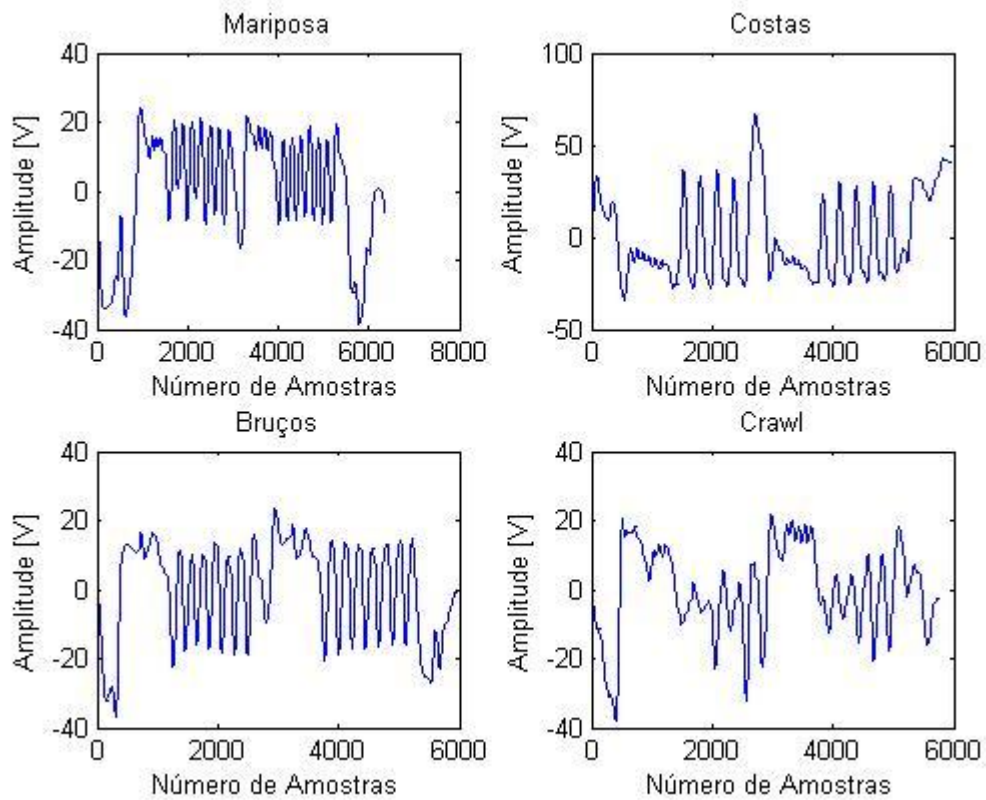




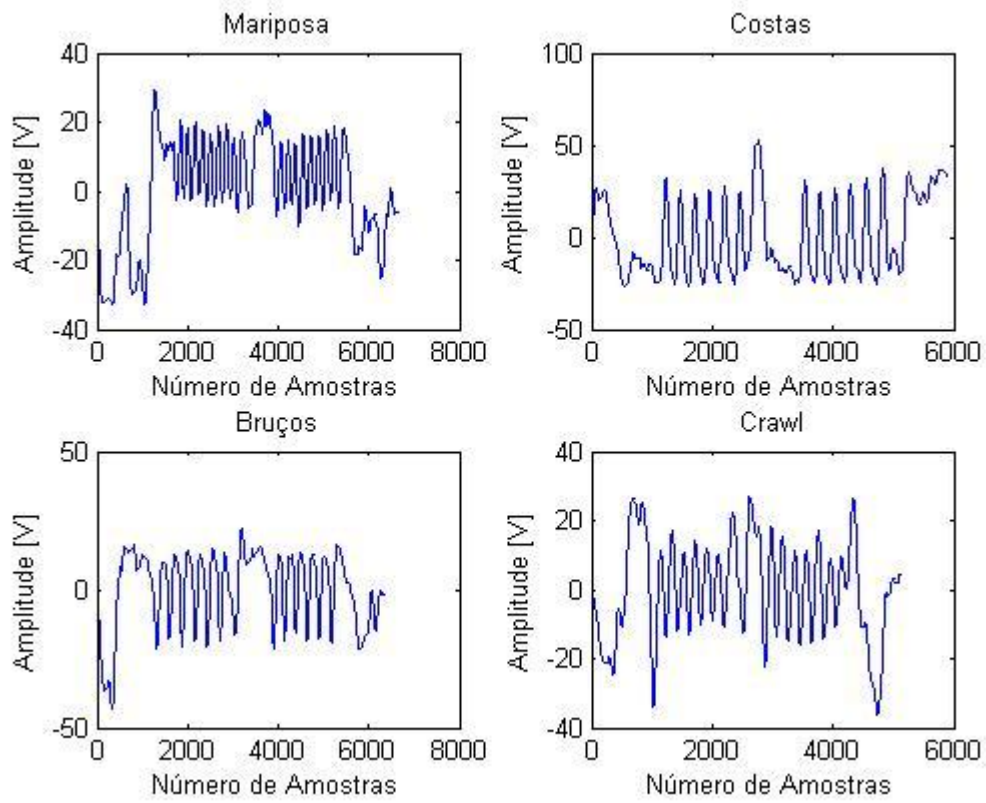
### Atleta 3



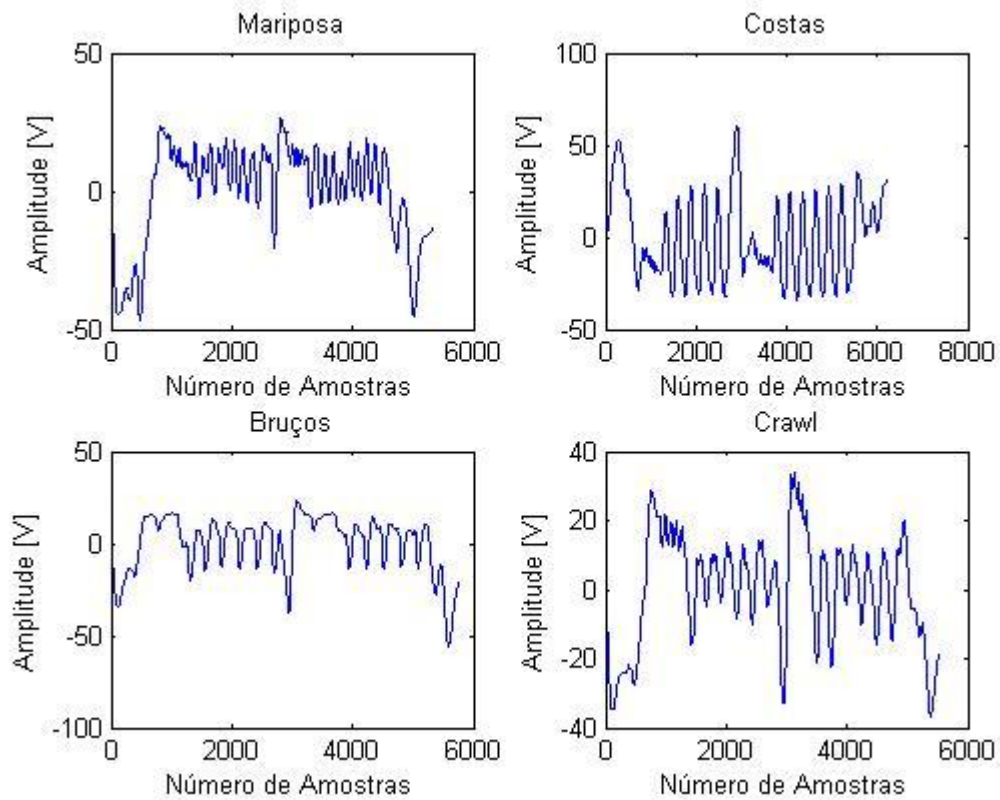
### Atleta 4



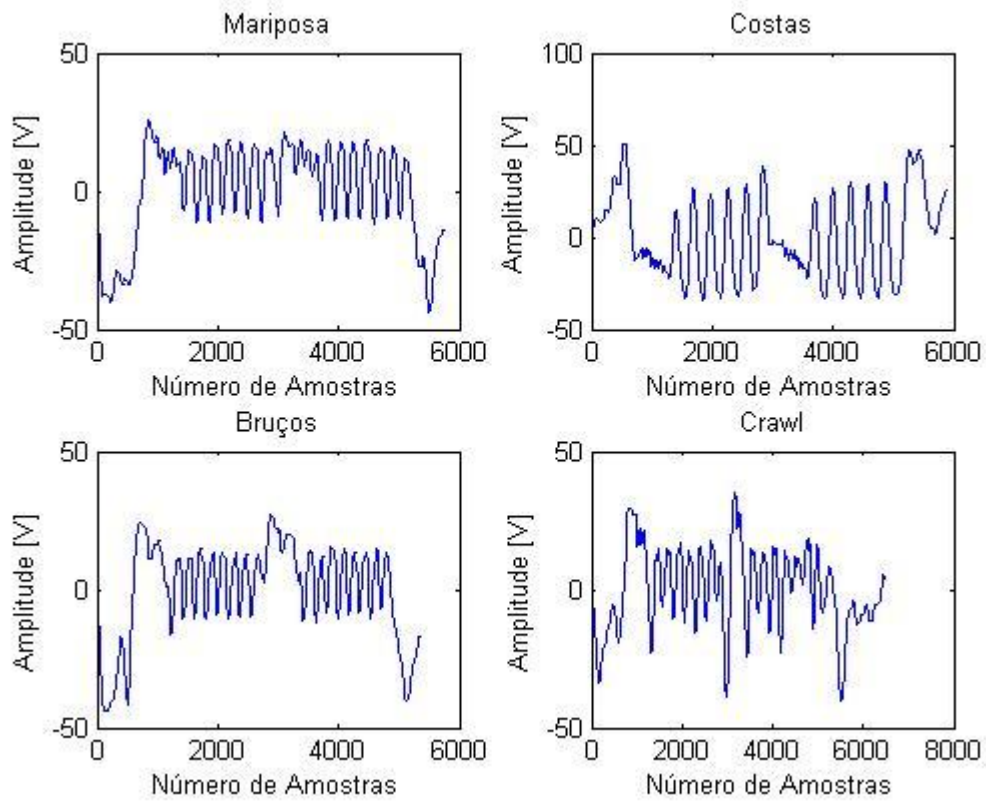
Atleta 5



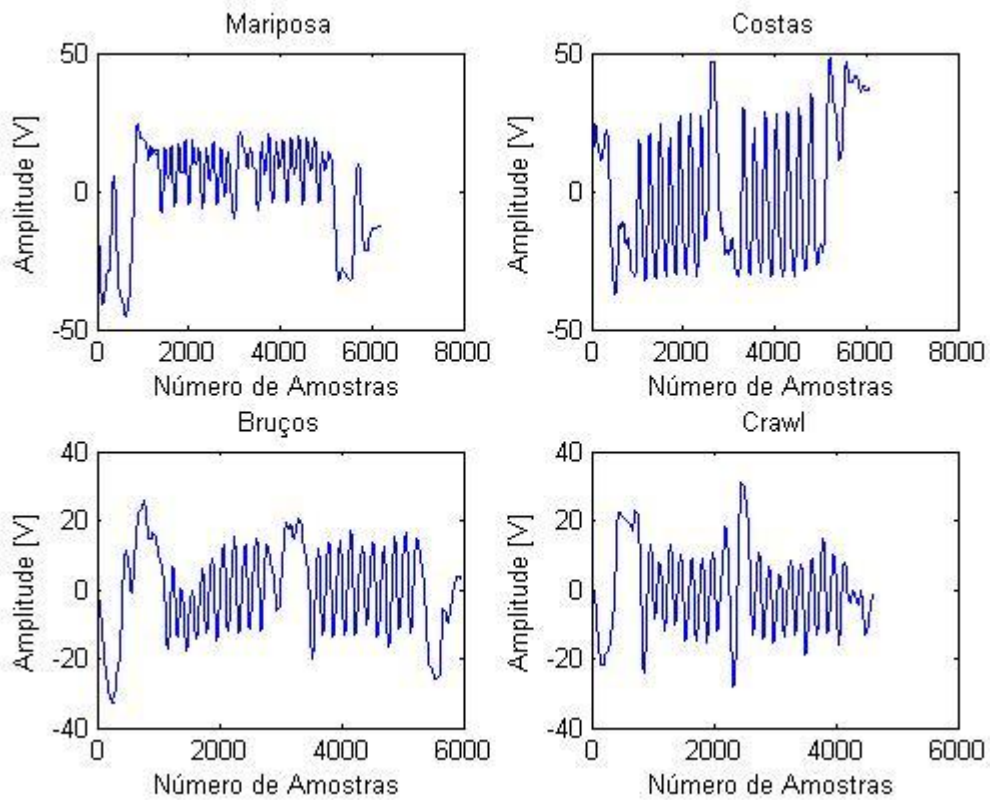
Atleta 6



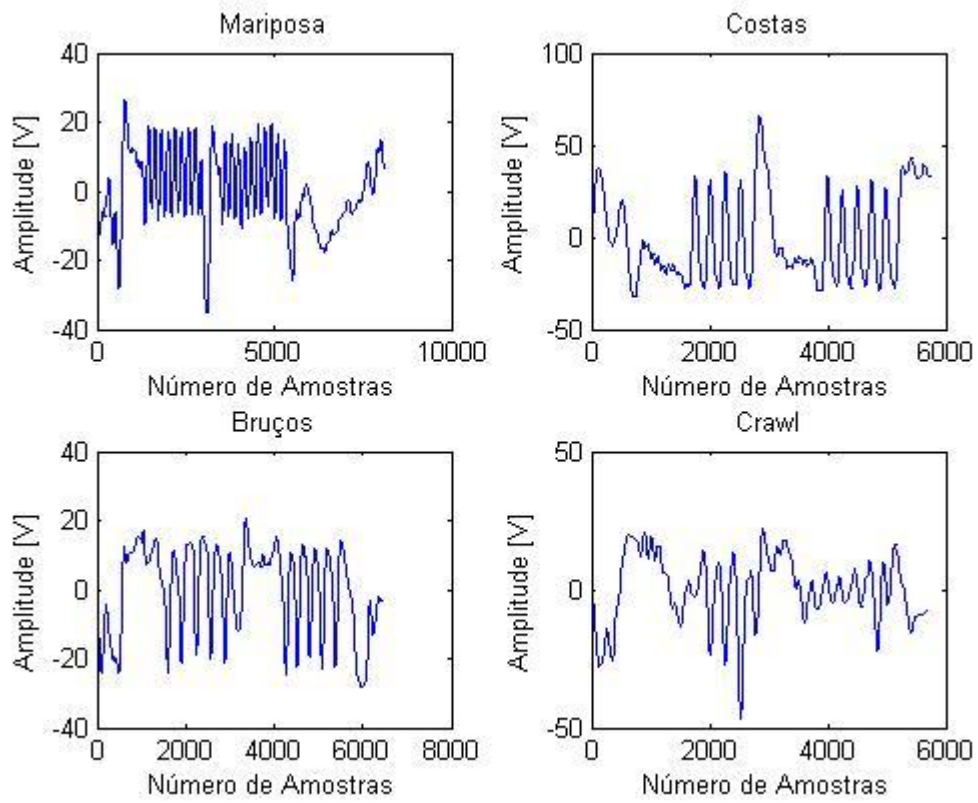
Atleta 7



Atleta 8



Atleta 9



Atleta 10

