



UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE – UERN
FACULDADE DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS – FANAT
DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA – DI
CURSO DE CIÊNCIAS DA COMPUTAÇÃO



GHOST SWIMMER: TECNOLOGIA APLICADA À NATAÇÃO

MOSSORÓ - RN

2019

THIAGO ALEFY ALMEIDA E SOUSA

GHOST SWIMMER: TECNOLOGIA APLICADA À NATAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado como critério parcial para obter o grau de bacharel em Ciências da Computação da Faculdade de Ciências Exatas e Naturais (FANAT) da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte/UERN.

Orientador (a): Prof^a. Dra. Cícília Raquel Maia Leite.

Coorientador (a): do Prof. Dr. Adalberto da Costa Veronese.

MOSSORÓ – RN

2019

© Todos os direitos estão reservados a Universidade do Estado do Rio Grande do Norte. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do(a) autor(a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu(a) respectivo(a) autor(a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

**Catálogo da Publicação na Fonte.
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte.**

S725g Sousa, Thiago Alefy Almeida e
Ghost Swimmer: Tecnologia aplicada a natação. /
Thiago Alefy Almeida e Sousa. - Mossoró, 2019.
41p.

Orientador(a): Profa. Dra. Cicília Raquel Maia Leite.
Coorientador(a): Prof. Dr. Adalberto Veronese Da
Costa.

Monografia (Graduação em Ciência da Computação).
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte.

1. Tecnologia. 2. Sistema Embarcado. 3. Esporte. 4.
Natação. 5. Saúde. I. Maia Leite, Cicília Raquel. II.
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte. III.
Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pela Diretoria de Informatização (DINF), sob orientação dos bibliotecários do SIB-UERN, para ser adaptado às necessidades da comunidade acadêmica UERN.

THIAGO ALEFY ALMEIDA E SOUSA

GHOST SWIMMER: TECNOLOGIA APLICADA À NATAÇÃO

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Cícília Raquel Maia Leite (Orientadora)
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte – UERN

Prof. Dr. Adalberto Veronese da Costa (Coorientador)
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte – UERN

Prof. Dr. Pedro Fernandes Ribeiro Neto
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte – UERN

Prof. Mdo Liebson Henrique Bezerra Lopes
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte – UERN

“Felizes dos que podem se acomodar,
tristes dos que se acomodam.”

Pedro Fernandes Ribeiro Neto

Dedico esse trabalho a todos aqueles
que amo e que estão sempre por perto
torcendo pela conquista do mundo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Ozanildo Almeida e Francineide Mesquita, por sempre me apoiarem e acreditarem em mim mesmo quando eu já não acreditava.

Aos meus irmãos, Talles Arquimedes e Thaísa Ályla, saber que tenho vocês sempre comigo me tem dado o conforto necessário para seguir caminhando. Sem vocês, com certeza, eu não chegaria até aqui.

A minha namorada, Ana Luiza Fernandes, pelo companheirismo, atenção, dedicação, zelo e compreensão. Eu não teria chegado até aqui sem os momentos de conversa, amor e carinho que me motivaram a seguir fazendo o meu melhor sempre.

Ao meu amigo, Athos, obrigado por todas as vezes que sentou ao meu lado por horas e horas enquanto eu estudava. Espero um dia conseguir retribuir o que fazem por mim. Amo vocês.

Ao Laboratório de Avaliação do Desempenho Aquático (LADA), por ter me proporcionado um excelente ambiente de descobertas, aprendizado e companheirismo.

À minha professora, orientadora e educadora, Cicília Raquel, deixo o meu obrigado por ter orientado e passado seus ensinamentos. Ao professor Adalberto Veronese, agradeço por ter me convidado para participar do LADA, onde encontrei pessoas que têm vontade de inovar.

A todos os Professores e Técnicos Administrativos que durante esta caminhada contribuíram para a minha formação pessoal e profissional repassando seus conhecimentos, valores e experiências.

A vocês minha eterna gratidão.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	15
2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1 – Esportes aquáticos.....	17
2.2 – Benefícios da Natação.....	17
2.3 – Treinamentos da Natação.....	18
2.4 – Testes para natação.....	19
3 – GHOST SWIMMER	23
3.1 – Visão Geral.....	23
3.2 – Histórico.....	23
3.3 – Tecnologias utilizadas.....	27
4 - VALIDAÇÃO DO GHOST SWIMMER	33
5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	38
REFERÊNCIAS	39

RESUMO

Na natação o grande desafio está na criação de equipamentos impermeáveis e cada vez mais próximos da sua realidade, ou seja, tecnologias que estejam em contato direto com a água e que possibilitem a avaliação e criação de um treinamento adequado às necessidades de cada praticante de natação, a partir da observação em tempo real da execução do nado. O objetivo deste trabalho é desenvolver um equipamento com sistema embarcado com lâmpadas LED impermeáveis que executem séries de treinamentos e avalie através do controle do ritmo de nado o condicionamento físico dos praticantes de natação, denominado *Ghost Swimmer*. Nesta pesquisa, apresenta-se temas relevantes quanto aos benefícios da natação, aos treinamentos e principais tipos testes físicos aplicados a este esporte, inclusive com a aplicação do *Ghost Swimmer* em praticantes desta modalidade esportiva. Neste sentido, observamos que o *Ghost Swimmer* mede o que se pretende medir, permitindo por meio de estímulos visuais, treinar e avaliar o condicionamento físico de nadadores.

Palavras-chave: Tecnologia, Sistema Embarcado, Esporte, Natação, Saúde.

ABSTRACT

One of the big challenges in swimming is related to the conception of waterproofing equipment that are increasingly closer to its reality, that is, technologies that are in direct contact with water and that allow the evaluation and creation of adequate training based on the needs of each swimming practitioner in real time. This work aims to develop an embedded system (named Ghost Swimmer) with waterproof LED bulbs that registers a set of training and evaluate the physical fitness of swimmers through the control of the swimming rhythm. The work addresses relevant issues regarding the benefits of swimming, training and main types of physical tests applied to this sport, as well as the application of Ghost Swimmer in practitioners of swimming. It is concluded that the Ghost Swimmer measures what it is intended to measure and allows by means of visual stimuli the training and evaluating the physical conditioning of swimmers.

Keywords: Technology, Embedded system , Sport, Swimming, Health.

LISTA DE SIGLAS

CBDA	Confederação Brasileira de Desportos Aquáticos
FCPA	Frequência Cardíaca Pós Atividade
GS	<i>Ghost Swimmer</i>
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
LADA	Laboratório de Avaliação do Desempenho Aquático
MP3	MPEG Layer 3
PSE	Percepção Subjetiva do Esforço
PSwT	<i>Progressive Swim Test</i>
UERN	Universidade do Estado do Rio Grande Do Norte
VO₂max	Volume Máximo de Oxigênio
VO₂	Volume de Oxigênio

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Nadador com um Mp3 Subaquático Finis localizado próximo ao ouvido que imite bips sonoros por vibração de condução óssea durante a realização do <i>Progressive Swim Test</i>	21
Figura 2 - Protótipo reduzido da primeira versão do GS.....	24
Figura 3 - Central de comandos da segunda versão do GS.....	24
Figura 4 - 5 barras de LED's da segunda versão do GS.....	25
Figura 5 - Central de comandos da terceira versão do GS.....	25
Figura 6 - Fita LED's GS terceira versão.....	26
Figura 7 - Acoplamentos de sucção para fita de LED.....	26
Figura 8 - Arduino Nano.....	27
Figura 9 - NodeMCU v3.....	28
Figura 10 - Fluxo de funcionamento do PSWT no GS.....	28
Figura 11 - Fluxograma de etapas para validação do GS.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados descritivos dos sujeitos da pesquisa.....	18
Tabela 2 – Frequências cardíacas em estado de repouso antes da realização do PSwT com e sem o GS.....	35
Tabela 3 – Correlação do número de piscinas, frequência cardíaca e percepção subjetivas de esforço após o <i>Progressive Swim Test</i> e o <i>Ghost Swimmer</i>	35

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Modelo esquemático de uma sessão de treinamento para a natação..	18
Quadro 2 – Quadro de tempos de execuções do <i>Progressive Swim Test</i> 400 metros.....	21
Quadro 3 – Quadro de tempos de execuções do <i>Progressive Swim Test</i> 800 metros.....	22
Quadro 4 – Características Arduino Nano.....	27
Quadro 5 – Características NodeMCU v3.....	28
Quadro 6 – Funções de acionamento dos LED's.....	30
Quadro 7 – Função PiscarVermelholda.....	31
Quadro 8 – Escala de Percepção de Esforço de Borg.....	34
Quadro 9 – Classificação de correlações.....	36

LISTA DE GRÁFICOS

- Gráfico 1** – Regressão linear do número de piscinas entre o *Progressive Swim Test* com e sem o *Ghost Swimmer*..... 36
- Gráfico 2** – Regressão linear da *Frequência Cardíaca* após a realização do *Progressive Swim Test* com e sem o *Ghost Swimmer*..... 37

1 – INTRODUÇÃO

Os avanços científicos e tecnológicos têm propiciado aos testes físicos cada vez mais adaptações voltadas às particularidades de seus praticantes devido à presença de microcontroladores que contribuem para uma diminuição da margem de erro nos resultados de cada atividade, além de facilitarem o manuseio destes equipamentos (KLEIN; VALNER, 2008), (RUNGUE *et al*, 2013) e (SOUSA *et al*, 2012).

Desta forma, as avaliações físicas são essenciais para estabelecer as condições reais dos sujeitos, permitindo a realização de programas de atividade física ou treinamento desportivo em conformidade as suas características individuais (FERNANDES, 2003). Nesse contexto, idealizar instrumentos de avaliação e acompanhamento possibilitam oferecer alternativas cada vez mais próximas à realidade dos seus adeptos e neste caso com a natação não seria diferente, a vantagem das tecnologias atuais de prototipagem é que não precisamos mais esperar por uma grande indústria para solucionar um problema, pois agora pode-se comprar uma placa controladora de plataforma *open source* e desenvolver equipamentos diversos e personalizados que serão usados especificamente para suprir as necessidades gerais ou de um grupo com características particulares (MONK, 2013).

O *Ghost Swimmer* é um equipamento desenvolvido utilizando-se de plataformas *open source* de prototipagem pelo Laboratório de Avaliação do Desempenho Aquático - LADA da Universidade do Estado do Rio Grande Do Norte – UERN, cujo objetivo é disponibilizar um equipamento que integre a tecnologia às particularidades dos esportes aquáticos, uma vez que permita, por meio de estímulos visuais, treinar e avaliar o condicionamento físico de nadadores com a aplicação do *Progressive Swimming Test – PSwT*. Auxiliando os profissionais de educação física e praticantes de natação, profissionais ou amadores, a executarem o tipo de treino mais adequado ao seu condicionamento físico e seus objetivos no esporte, seja com a finalidade de lazer ou de competir.

A referente pesquisa está organizado em cinco capítulos, sendo que no capítulo 2 apresentamos a fundamentação teórica necessária para entendermos os

esportes aquáticos. No capítulo 3 apresentamos o equipamento desenvolvido por meio do seu histórico de versões e tecnologias utilizadas. No capítulo 4 é apresentado a validação do equipamento por meio de coleta em ambiente real. E no último capítulo apresentamos as considerações finais, bem como as expectativas futuras para desenvolvimento e pesquisas.

2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 – Esportes aquáticos

Os esportes aquáticos são todos aqueles esportes que são praticados em meios aquáticos, podendo ser praticados em espaços delimitados de piscinas ou em espaço aberto como o mar, lagos e represas.

A principal força a ser vencida, nos esportes aquáticos, é a resistência da água ou arrasto, que é aproximadamente 800 vezes maior que a resistência do ar, fazendo com que esses esportes tenham um elevado custo energético (CAPUTO *et al*, 2006).

Os esportes aquáticos são administrados pela Federação Internacional de Natação Amadora – FINA e no Brasil pela Confederação Brasileira de Desportos Aquáticos – CBDA. Nesta perspectiva, observamos que os esportes são compostos por cinco modalidades diferentes como por exemplo, natação, maratonas aquáticas, polo aquático, saltos ornamentais e nado artístico (PERREIRA DA COSTA, 2005).

2.2 – Benefícios da Natação

É notório saber que os esportes e as atividades físicas têm um papel importante para melhoria na qualidade de vida das pessoas. Contudo, a natação se mantém como sendo um dos esportes aquáticos mais praticados no Brasil, com aproximadamente 200 mil praticantes, considerando que a natação não se limita ao ato de se deslocar no meio líquido no menor tempo possível como pode ser visto em

competições. Entende-se que, é uma atividade física completa, pois trabalha a harmonia no nado, flexibilidade, potência, ritmo e a coordenação motora (COSTA, 2005), (RAMALDES, 1987) e (ESCALANTE; SAAVEDRA, 2012).

Trata-se um exercício saudável e muito indicado para atletas asmáticos pois, a proximidade do ar com a água o mantêm sempre com alta umidade, de modo a reduzir a perda de água no ato respiratório, diminuir a viscosidade do muco das vias aéreas e aumentar a capacidade respiratória do nadador por meio do exercício (BERNARD, 2010).

Além disso, esportes aquáticos em ambiente controlado, como natação e hidroginástica, têm sido cada vez mais indicados por médicos para idosos, pois tratam-se de atividades que causam baixo impacto e sobrecarga de articulações e proporcionam melhora das aptidões físicas de quem as realiza (SANTOS; MAZO, 2014).

2.3 – Treinamentos da Natação

Os treinamentos para natação são normalmente divididos em três partes: aquecimento, parte principal e regenerativo, respectivamente nesta sequência (SOUZA, 1997). O Quadro 1 exemplifica estas três etapas.

Quadro 1 – Exemplo de modelo esquemático de uma sessão de treinamento para a natação.

Aquecimento	600 metros de nado contínuo.
Parte Principal	3 x 400 metros crawl para 5' com intervalos de 15" e 20".
Regenerativo	300 metros de nado solto.

Fonte: Elaborada pelo autor.

O aquecimento é qualquer medida que tenha a intenção de preparação para uma atividade física, também existe nesse treinamento o educativo que correspondem as correções dos nados, levando o indivíduo ao estado ideal para realização de atividades complexas, buscando prevenir lesões em decorrência da mesma, assim o aquecimento e o educativo tornam-se essenciais para qualquer treinamento, seja ele em esporte aquático ou não (MCARDLE *et al*, 2003).

A parte principal de um treinamento consiste nos passos para que seja possível alcançar os objetivos desejados, sejam estes para melhoria de uma prova da natação ou para aprendizagem dos nados (BOMPA, 2002).

Para tanto, ressaltamos que o regenerativo é importante no sentido de proporcionar diminuição do tônus muscular e, com isso, a recuperação acelerada após a competição ou treinamento (WEINECK, 2000), uma vez que, o corpo voltará ao seu estado de relaxamento com maior agilidade.

2.4 – Testes para natação

Os testes físicos estão cada vez mais adaptáveis às condições reais de seus praticantes devido à presença de microcontroladores que contribuem para uma diminuição da margem de erro nos resultados e na facilidade de manuseio destes equipamentos (KLEIN; VALNER, 2008), (RUNGUE *et al*, 2013) e (SOUSA *et al*, 2012).

Considerando os vários tipos de testes existentes para a avaliação de indivíduos no meio aquático, destacam-se três grandes linhas conforme Colantonio; Kiss (2007) e Costa *et al* (2012):

- Testes contínuos: são testes que avaliam a maior distância a ser nadada pelo sujeito em tempo determinado;
- Testes intervalados: são testes realizados em séries com várias repetições para que nos intervalos de descansos possam avaliar o sujeito;
- Testes progressivos: são testes que a cada etapa de dado percurso a ser nadado ocorre um aumento da intensidade do nado, determinado pela diminuição do tempo de execução do referido percurso.

No que diz respeito aos testes contínuos, observa-se que um dos mais conhecidos da natação é o teste T30, o qual baseia-se em nadar a maior distância possível no período de 30 minutos mantendo uma regularidade desde o início até o final do teste (DEMINICE *et al*, 2007).

Quanto aos testes intervalados destacamos um dos mais utilizados na natação, o teste de duas velocidades (2 V), caracterizado por nadar duas vezes a distância de 400 metros, sendo a primeira a 85% e a segunda a 100% do tempo

pessoal (MADER *et al*, 1976) e (OLBRECHT *et al*, 1985).

Com relação aos testes progressivos, destaca-se o *Progressive Swim Test* (PSwT), que tem como objetivo o monitoramento do nado baseado no maior número de voltas em uma piscina de 25 metros, com intensidade de fases estabelecidas por sinais sonoros que possibilitam estimar o volume máximo de oxigênio (VO₂max) para praticantes de natação (COSTA *et al*, 2012), (COSTA *et al*, 2013) e (COSTA *et al*, 2016).

2.4.1 – Progressive Swimming Test - PSwT

Considerando os diversos aspectos do estudo proposto fez-se uso conforme análise de dados da University de Montreal Track Test, por possuir multiníveis de corrida através de bips sonoros, o PSwT, com o mesmo procedimento os envia por um MP3 subaquático ocorrendo um aumento da intensidade, objetivando avaliar o VO₂máx estimado de uma maneira comercialmente disponível e aplicável (COSTA *et al*, 2012), (COSTA *et al*, 2013) e (COSTA *et al*, 2016).

O PSwT foi idealizado visando a criação de um teste no meio aquático em piscina de 25 metros que pudesse avaliar praticantes de natação não atletas.

Figura 1 – Nadador com um Mp3 Subaquático Finis localizado próximo ao ouvido que imite

bips sonoros por vibração de condução óssea durante a realização do *Progressive Swim Test*.



Fonte: Costa *et al.* (2012)

O PSWT segue conforme ilustrado no Quadro 2 com o tempo para suas iterações de 25 metros nadados, o teste chega ao fim quando o nadador por duas vezes consecutivas não conseguir acompanhar os tempos das iterações ou chegar ao ponto de exaustão.

Quadro 2 – Tempos de execuções do *Progressive Swim Test 400 metros*.

Lap	Time	m/s	k/h
1	28"30	0.88	3.18
2	27"30	0.92	3.30
3	26"30	0.96	3.42
4	25"30	0.99	3.56
5	24"30	1.03	3.70
6	23"30	1.07	3.86
7	22"30	1.12	4.04
8	21"30	1.17	4.23
9	20"30	1.23	4.43
10	19"30	1.30	4.66
11	18"30	1.37	4.92
12	17"30	1.45	5.20
13	16"30	1.53	5.52
14	15"30	1.63	5.88
15	14"30	1.75	6.29
16	13"30	1.88	6.77

Fonte: Costa *et al.* (2012)

Vemos no quadro 2 o total de metros nadados igual a 400 metros do protocolo tornaram-se 800 metros de nado, demonstrados seus tempos no Quadro 3, tendo em

vista que alguns nadadores não conseguiam alcançar seus picos de VO₂máx (COSTA et al, 2013).

Quadro 3 – Tabela de tempos de execuções do *Progressive Swim Test 800 metros*.

Lap	Time	m/s	k/h
1,00	28"30	0,88	3,18
2,00	28"30	0,88	3,18
3,00	27"30	0,92	3,30
4,00	27"30	0,92	3,30
5,00	26"30	0,95	3,42
6,00	26"30	0,95	3,42
7,00	25"30	0,99	3,56
8,00	25"30	0,99	3,56
9,00	24"30	1,03	3,70
10,00	24"30	1,03	3,70
11,00	23"30	1,07	3,86
12,00	23"30	1,07	3,86
13,00	22"30	1,12	4,04
14,00	22"30	1,12	4,04
15,00	21"30	1,17	4,23
16,00	21"30	1,17	4,23
17,00	20"30	1,23	4,43
18,00	20"30	1,23	4,43
19,00	19"30	1,30	4,66
20,00	19"30	1,30	4,66
21,00	18"30	1,37	4,92
22,00	18"30	1,37	4,92
23,00	17"30	1,45	5,20
24,00	17"30	1,45	5,20
25,00	16"30	1,53	5,52
26,00	16"30	1,53	5,52
27,00	15"30	1,63	5,88
28,00	15"30	1,63	5,88
29,00	14"30	1,75	6,29
30,00	14"30	1,75	6,29
31,00	13"30	1,88	6,77
32,00	13"30	1,88	6,77

Fonte: Costa *et al.* (2012)

Neste sentido, conforme vemos na tabela acima, os tempos são dados para execuções de 25 metros que sofrem uma diminuição de 1 segundo no seu tempo a cada duas voltas, dessa forma o nadador vai progredir a velocidade do nado.

3 – GHOST SWIMMER

3.1 – Visão Geral

O *Ghost Swimmer* (GS) surgiu por meio de um teste que estima o Volume de Oxigênio Máximo (VO₂máx) para praticantes de natação, já supracitado, denominado PSwT.

Para tanto, foi utilizada uma plataforma de prototipagem eletrônica de

hardware livre que faz o controle de acionamento e Light Emitting Diode (LED) impermeáveis submergidos ao fundo da piscina para que possam dar o estímulo luminoso para o teste e treinamentos prescritos.

Assim, o sistema embarcado de LEDs impermeáveis – *Ghost Swimmer*, apresenta-se ao mercado tecnológico como uma ferramenta de alta precisão para a avaliação do condicionamento físico e prescrição do exercício adaptando-se a situações reais dos exercícios aquáticos da natação.

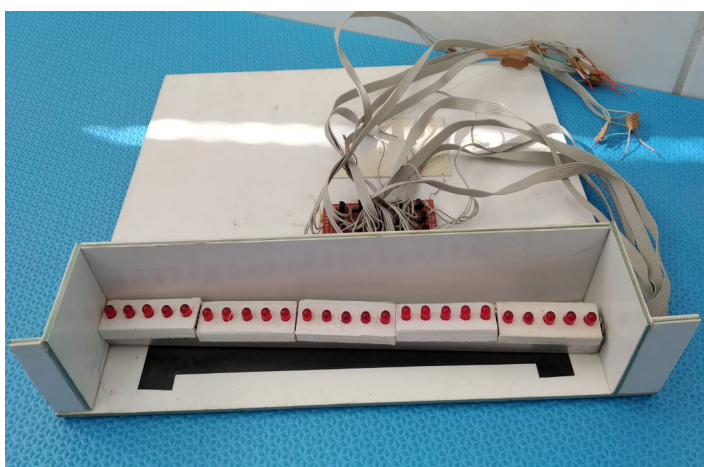
3.2 – Evolução

Inicialmente, o GS foi idealizado de modo a possuir 25 lâmpadas de LED dispostas em 25 barras, sendo cada uma de 1 metro e contendo apenas uma lâmpada LED que ligavam inteira dando apenas 25 pontos para o nadador verificar sua posição em relação à posição desejada no PwST.

Este modelo tornou-se inviável pela grande quantidade de fios que seriam necessários para controlar o acionamento dos LED's, chegando a quase 100 fios, que seriam diretamente ligados à rede elétrica a 220V, o que gerou preocupação quanto à segurança da sua utilização em contato com a água.

Na figura 2, vemos a representação do protótipo reduzido da primeira versão do GS fundamental para representá-lo, inicialmente.

Figura 2 – Protótipo reduzido da primeira versão do GS.



Fonte: Arquivos do autor

Para a criação da segunda variante do GS, foram utilizados LED's com endereçamento digital e cada um deles possuía um endereço, número sequencial, o que possibilitou o aumento da quantidade de lâmpadas LED de 25 para 125, ampliando em cinco vezes a resolução.

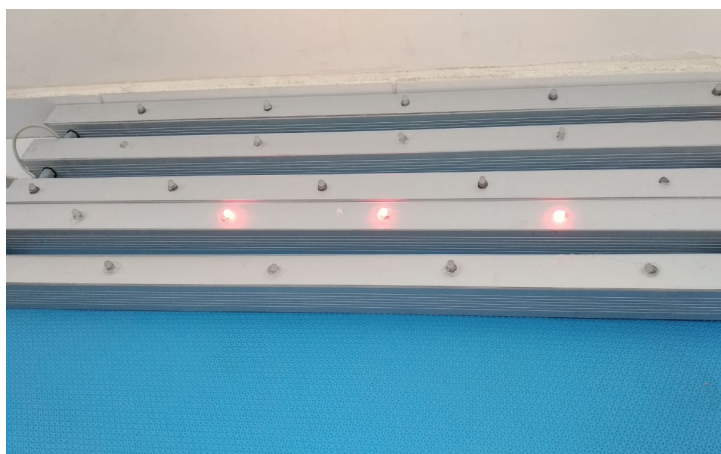
Desse modo, a quantidade de fios diminuiu, sendo necessário apenas um pino para controlar quantos pontos de luz fossem necessários. A partir de então foi possível transformar os anteriores 220 V em 5 V e o equipamento passou a funcionar apenas com um *power bank*, sendo permitido alimentá-lo sem os riscos do contato com a rede elétrica, tornando-o muito mais compacto, eficiente e seguro.

Figura 3 – Central de comandos da segunda versão do GS.



Fonte: Arquivos do autor

Figura 4 – Barras de LED's da segunda versão do GS.



Fonte: Arquivos do autor

Assim, a partir da segunda versão o *Ghost Swimmer* tornou-se viável tanto comercialmente quanto para a avaliação utilizando o PSwT. Entretanto, a terceira versão do GS recebeu novas funções e um novo design: possui um visor onde pode ser acompanhado o número de piscinas nadadas e permite escolher entre fazer o PSwT ou programar um treinamento para que o atleta siga os estímulos luminosos com o tempo de intervalo, tempo de execução do treinamento, distância e repetições programados.

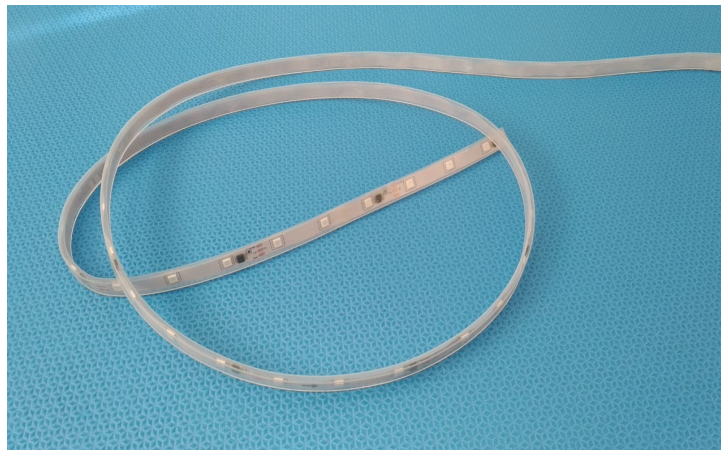
Figura 5 – Central de comandos da terceira versão do GS.



Fonte: Arquivos do autor

Nessa versão, o GS foi desenvolvido com novos LED's que são dispostos em fitas, fazendo com que o equipamento tenha uma melhor mobilidade e aparência, uma vez que as novas fitas possuem 250 lâmpadas dispostas em 25 metros, dobrando a resolução da segunda versão do GS.

Figura 6 – Fita LED's GS terceira versão.

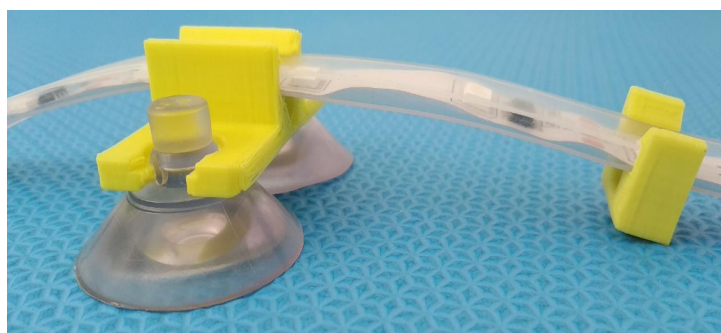


Fonte: Arquivos do autor

Os 250 LED's da nova fita são alimentados com 12 V que são fornecidos por um banco de 8 pilhas AA conectadas ao GS. Sendo assim, torna-o seguro para o uso em ambientes com água.

Neste sentido, as novas fitas o peso do GS foi diminuído em ao menos 4 vezes tornando-o um equipamento de fácil transporte e instalação no fundo de qualquer piscina semiolímpica, piscinas que tenham 25 metros de extensão, com o auxílio dos acoplamentos por sucção, conforme demonstrado na figura 7, desenvolvidos em impressão 3D que ficam aderidos no fundo da piscina.

Figura 7 – Acoplamentos de sucção para fita de LED.



Fonte: Arquivos do autor

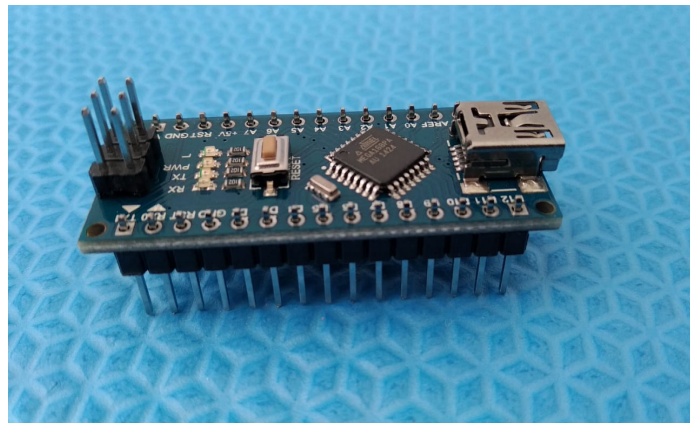
3.3 – Tecnologias utilizadas

O GS foi desenvolvido para ter como base as plataformas *open source* de prototipagem, Arduino e NodeMCU, que têm a capacidade de processamento

semelhante ao baixo custo.

Contudo, a segunda versão do GS foi desenvolvido com o Arduino Nano, conforme representado na figura 8, pois ainda não necessitaria um poder de processamento ou memória maior que a existente no microcontrolador Atmel ATmega328p, conforme descrição de suas características no quadro 4.

Figura 8 – Arduino Nano.



Fonte: Arquivos do autor

Quadro 4 – Características Arduino Nano

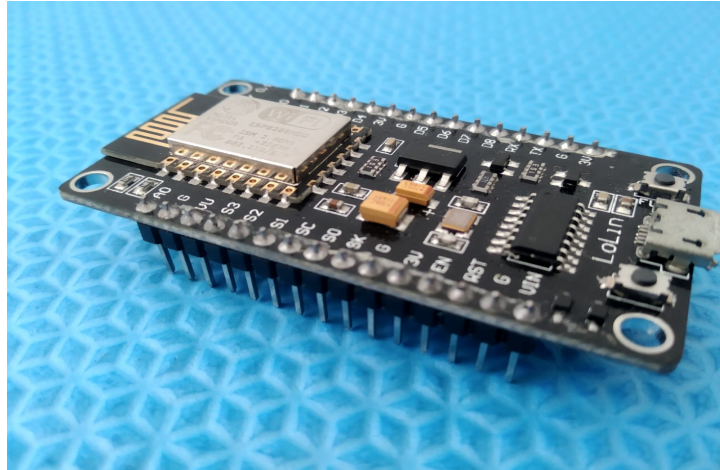
- Microcontrolador: Atmel ATmega328p
- Tensão de operação (nível lógico): 5V;
- Tensão de entrada (recomendado): 7-12V
- Tensão de entrada (limites): 6-20V;
- Digital I/O Pins: 14 (dos quais 6 oferecem saída PWM);
- Pinos de entrada analógica: 8;
- Memória Flash: 32 KB;
- SRAM: 2 KB (ATmega328);
- EEPROM: 1 KB (ATmega328);
- Clock Speed: 16MHz;

Fonte: Elaborado pelo autor

Na terceira versão, não foi possível utilizar o mesmo microcontrolador utilizado da anterior, pois a duplicação do número de LED's causou escassez de memória tornando-o imprescindível a atualização da plataforma de prototipagem para

o NodeMCU, conforme vemos na figura 9. No entanto, a maior capacidade de memória e um maior poder de processamento tornaram possível desenvolvimento de novas modalidades de uso para essa versão.

Figura 9 – NodeMCU v3.



Fonte: Arquivos do autor

Diante disso, para um melhor embasamento utilizamos o quadro 5 para demonstrarmos as características do NodeMCU.

Quadro 5 – Características NodeMCU v3.

- Processador ESP8266-12E
- Arquitetura RISC de 32 bits
- Processador pode operar em 80MHz / 160MHz
- 4Mb de memória flash
- 64Kb para instruções
- 96Kb para dados
- WiFi nativo padrão 802.11b/g/n (Opera em modo AP, Station ou AP + Station)
- Alimentado 5VDC através do conector micro USB
- Possui 11 pinos digitais e 1 pino analógico com resolução de 10 bits
- Pinos operam em nível lógico de 3.3V
- Possui conversor USB Serial integrado

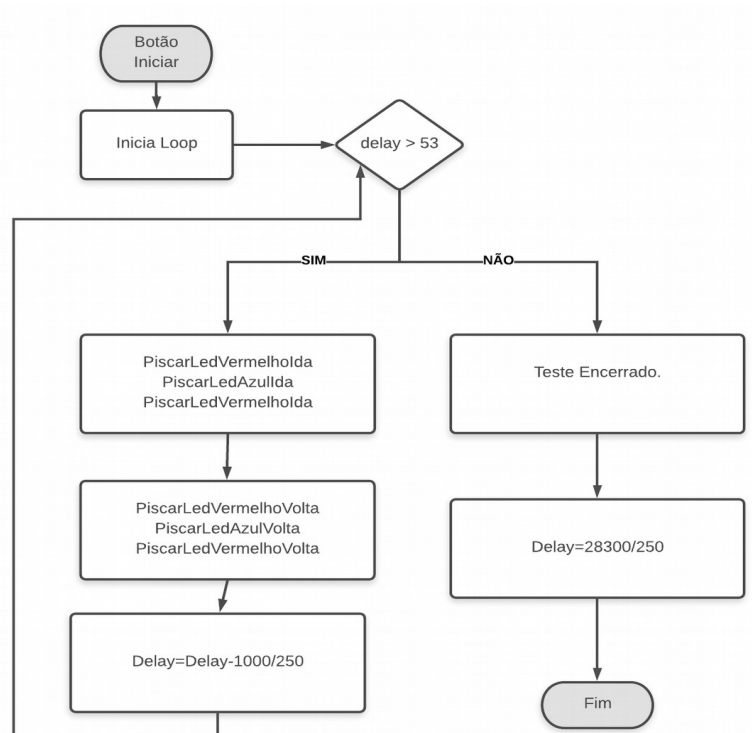
Fonte: Elaborado pelo autor

A utilização do NodeMCU possibilitou que fossem indexados até 500 LED's e permitindo uma expansão para piscinas olímpicas, com 50 metros de extensão, possibilitando novas versões do GS.

Nesta perspectiva, o software para o GS a partir da segunda versão foi desenvolvido utilizando a IDE Arduino 1.8.7, linguagem de programação C++, considerada de alto nível, associada a biblioteca Adafruit_NeoPixel. Este software é responsável por fazer a divisão e controle de acionamento dos LED's distribuídos em piscinas semiolímpicas em três partes sendo duas faixas de cinco metros iniciais e finais que devem acender na cor vermelha e uma de 15 metros no centro da piscina, que devem acender na cor azul para indicar a posição do nadador dentro da piscina, com tempo adequado criação de um ritmo de natação para os exercícios sugeridos por educadores físicos.

Contudo, o software responsável pelo PSwT tem seu funcionamento lógico, iniciando a execução quando recebe o comando de início do botão físico, conforme vemos em fluxograma ilustrado na figura 10.

Figura 10 – Fluxo de funcionamento do PSWT no GS.



Fonte: Elaborado pelo autor

Existem quatro funções de acionamento dos LEDs: `PiscarLedVermelhoIda`, `PiscarLedAzulIda`, `PiscarLedVermelhoVolta`, `PiscarLedAzulVolta` que são chamadas passando como parâmetro o endereçamento numérico inicial e final de cada parte da piscina semiolímpica de ida e volta dos LED's, conforme demonstramos no quadro 6.

Quadro 6 – Funções de acionamento dos LED's.

```
PiscarVermelhoIda(Inicial, Final);  
PiscarAzulIda(Inicial, Final);  
PiscarVermelhoVolta(Inicial, Final);  
PiscarAzulVolta(Inicial, Final);
```

Fonte: Elaborado pelo autor

As funções de acionamento dos LED's recebem o tempo de execução entre os acionamentos da função *delay* dentro de cada função de controle de LED's, proporcionando uma pausa na execução, o tempo de pausa é passado como parâmetro em um número inteiro que é representado em milissegundos conforme código ilustrado no quadro 7.

Quadro 7 – Função PiscarVermelhoIda.

```
void PiscarVermelhoIda(int inicial, int final){
  int i;
  for(i=inicial;i<final;i++){
    pixels.setPixelColor(i, pixels.Color(0,255,0));
    pixels.show();
    delay(x);
    pixels.setPixelColor(i, pixels.Color(0,0,0));
    int j;
    int q;

    for(q=0;q<4;q++){
      if(i+q>final){
        pixels.setPixelColor(i+q, pixels.Color(0,0,255));
      }
      else{
        pixels.setPixelColor(i+q, pixels.Color(0,255,0));
      }
    }
    if(i!=100 || i != 25){
      pixels.setPixelColor(i, pixels.Color(0,0,0));
    }
    else{
      pixels.setPixelColor(i, pixels.Color(0,255,0)); }
    pixels.show();
    delay(x);
  }
}
```

Fonte: Elaborado pelo autor

A terceira versão do equipamento proporcionou uma nova função que foi intitulada com o mesmo nome do equipamento, *Ghost Swimmer*. Nessa função, é possível o profissional de educação física programar por meio de botões na central de comandos os estímulos luminosos que serão a base para o treinamento do atleta.

Conforme modelo, o equipamento é composto por uma chave de escolhas, no qual o treinador poderá escolher entre o PSwT para estimar o VO_2 máx ou realizar a programação do treinamento, o qual ele terá que informar a distância que o atleta percorrerá; o tempo para que o atleta execute essa distância; o intervalo de descanso e a quantidade de repetições desse treinamento.

Neste sentido, observa-se que é programado por meio a IDE do Arduino com a mesma versão do PSwT e fazendo réuso das funções de controle dos LED's da

segunda versão do GS, por isso foi desenvolvida a CalcTempTotal e CalcDelay que recebe os tempos programados pelo treinador para cálculo do tempo que cada LED ficará ativado para criar o ritmo de nado do treinamento prescrito pelo educador físico.

A função CalcTempTotal converte o tempo programado para o treinamento pelo educador físico em milissegundos para que a função CalcDelay possa executar o cálculo de tempo para cada acionamento de LED com base na distância que o atleta percorrerá.

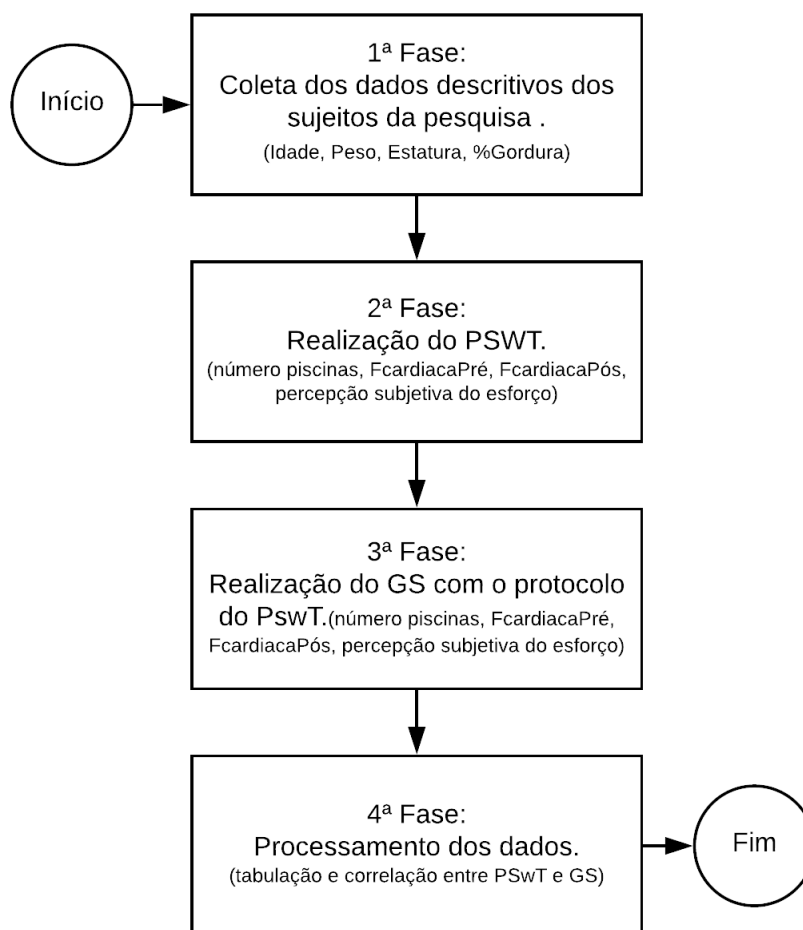
Assim, a função GS se tornará uma importante aliada de qualquer educador físico especializado em natação, pois executará os estímulos luminosos necessário para levar os seus atletas aos seus melhores rendimentos em treinamentos.

Diante disso, as evoluções do equipamento possibilitaram melhorias que devem ser destacadas como por exemplo: a primeira versão tinha uma enorme quantidade de fios que poderiam ocasionar problemas ao equipamento e uma alimentação de energia direta da rede elétrica; já a segunda versão trouxe mais segurança, com apenas 3 fios dentro de calhas metálicas, diminuindo drasticamente os pontos que poderiam ocasionar problemas ao funcionamento do equipamento e uma nova alimentação com banco de baterias de 5 V; por fim, a terceira versão que possibilitou melhorias para a mobilidade e usabilidade do equipamento, composta agora por fitas de LED's impermeáveis que melhoraram a mobilidade e uma central de comandos com visor para utilização do equipamento que agora conta com o modo *Ghost Swimmer*, permitindo assim, a programação dos treinamentos para os praticantes da natação.

4 - VALIDAÇÃO DO GHOST SWIMMER

Considerando a necessidade de verificar se o GS avalia o que se pretende medir, o equipamento foi levado ao campo no Ideal Clube, localizado na cidade de Fortaleza/CE, com a participação de 8 voluntários, que se dispuseram a realizar o PSwT com e sem o GS para a validação do equipamento desenvolvido. O processo para validação ocorreu de acordo com o fluxograma ilustrado na figura 11.

Figura 11 – Fluxograma de etapas para validação do GS.



Fonte: Elaborado pelo autor

A primeira etapa consistiu na coleta de dados descritivos de cada voluntário: idade, peso, estatura e percentual de gordura corporal, posteriormente analisados e representados na tabela 1 em seus valores mínimo e máximo, calculada a média e o desvio padrão.

Tabela 1 – Dados descritivos dos sujeitos da pesquisa.

Variáveis	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Idade	30	61	46,57	9,88
Peso	72	98	84,23	9,25
Estatura	1,64	1,83	1,76	0,07
%Gordura	20	30	26,00	3,74

Fonte: Elaborada pelo autor

A segunda etapa caracterizou-se pela seguinte sequência de eventos: verificação da frequência cardíaca antes da aplicação do PswT; realização do teste; contagem do número de piscinas realizadas e medida da frequência cardíaca pós-teste e análise da percepção subjetiva do esforço empregado por meio da aplicação da escala de Borg, composta por números de 1 a 10, sendo que 1 é o valor correspondente a um esforço muito fácil e 10 corresponde a um esforço extremamente difícil (MAGLISCHO, 1999), como demonstrado no quadro 8 .

Quadro 8 – Escala de Percepção de Esforço de Borg.

Pontuação	Esforço Percebido
10	Extremamente difícil
9	Muito Difícil
7-8	Difícil mas realizável
5-6	Esforço Moderado
3-4	Fácil
1-2	Muito Fácil

Fonte: Elaborada pelo autor

Na terceira etapa foram repetidos os eventos descritos na etapa anterior, com o diferencial da aplicação do GS. Assim, na última etapa os dados obtidos em todas as etapas foram processados, tabulados e correlacionados.

Nesta perspectiva, na tabela 2 estão representadas as frequências cardíacas em estado de repouso dos oito voluntários antes da realização do PSwT com e sem o GS.

Tabela 2 – Frequências cardíacas em estado de repouso antes da realização do PSwT com e sem o GS.

Variáveis	Mínimo	Máximo	Media	Desvio Padrão
FCR PSwT*	70	100	83,14	9,44
FCR GS**	60	90	77,14	12,53

*FCR PSwT: Frequência Cardíaca de Repouso do *Progressive Swim Test* sem o GS.

**FCR GS: Frequência cardíaca do *Ghost Swimmer*.

Fonte: Elaborada pelo autor

Tabela 3 – Correlação do número de piscinas, frequência cardíaca e percepção subjetivas de esforço após o *Progressive Swim Test* e o *Ghost Swimmer*.

	N. Piscinas	FCPA*	PSE**
<i>Progressive Swim Test</i>	22,14±4,45	168,57±30,23	7,14±1,46
<i>Ghost Swimmer</i>	23,71±3,54	167,14±9,51	7,71±1,60
r	0,85	0,74	-0,12

*FCPA: Frequência Cardíaca Pós Atividade;

**PSE: Percepção Subjetiva do Esforço.

Fonte: Elaborada pelo autor

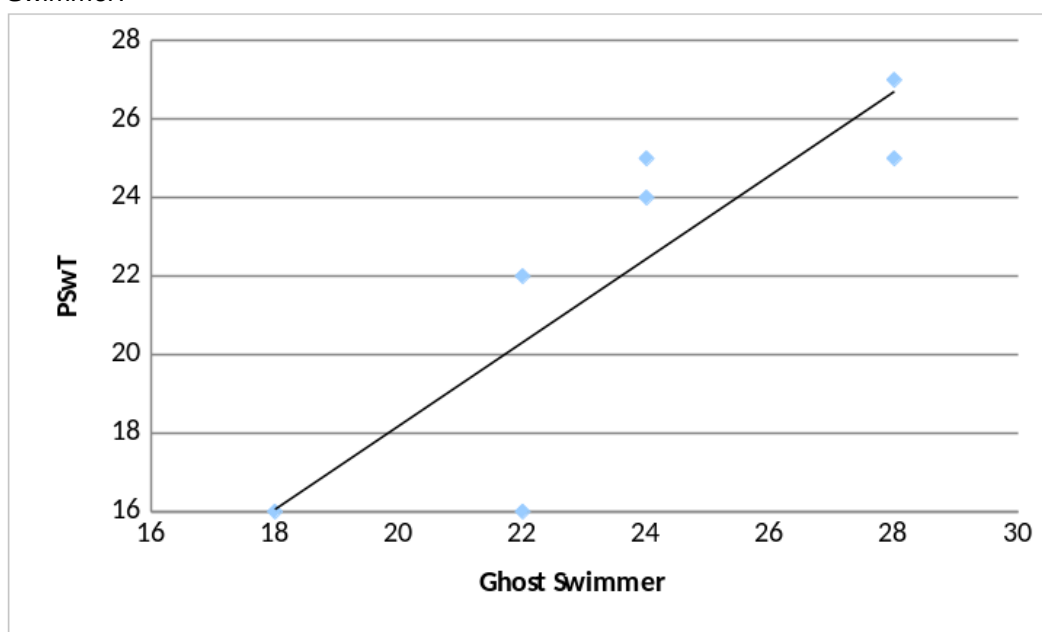
Analisando os dados da tabela 3 observou-se a existência uma correlação dos dados de N.Piscinas e FCPA do PSwT com e sem o GS, que pode ser classificada seguindo o Quadro 9. Com base nisso, podemos evidenciar a existência de correlações altas em variáveis que são de grande importância para avaliar o condicionamento físico dos nadadores.

Quadro 9 – Classificação de correlações.

Valor de r	Classificação
$r \leq 0,16$	Fraco
$0,16 > r \leq 0,49$	Moderado
$0,49 > r \leq 0,81$	Alto
$0,81 > r \leq 1,0$	Muito Alto

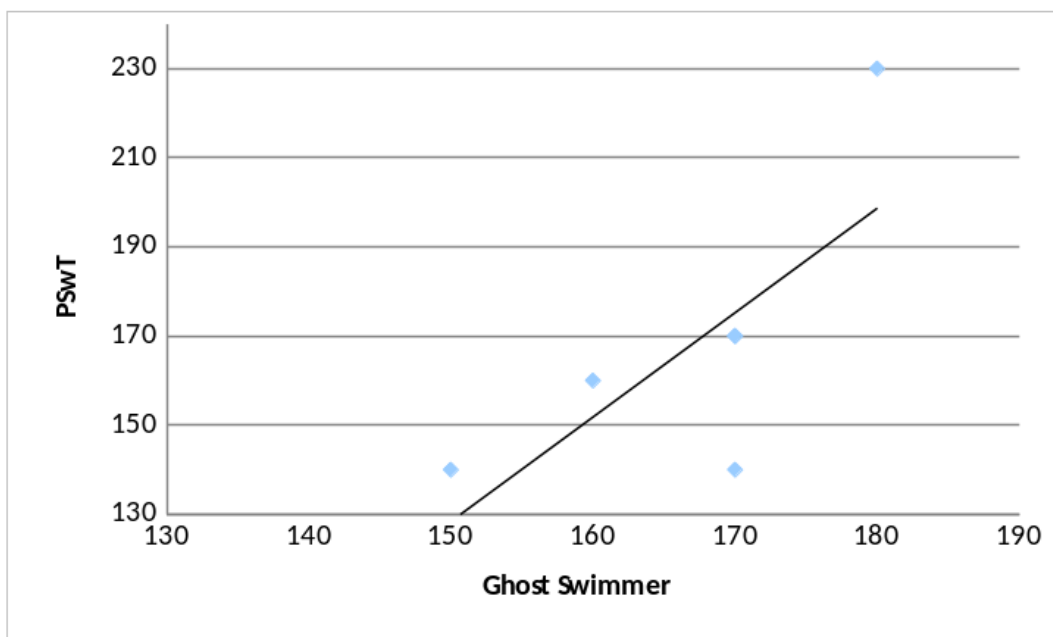
Fonte: (COSTA et al, 2013)

Gráfico 1 – Regressão linear do número de piscinas entre o *Progressive Swim Test* com e sem o *Ghost Swimmer*.



Fonte: Elaborado pelo autor

Gráfico 2 – Regressão linear da Frequência Cardíaca após a realização do *Progressive Swim Test* com e sem o *Ghost Swimmer*.



Fonte: Elaborado pelo autor

Nos gráficos 1 e 2 de regressão linear apresentados foi possível evidenciar a existência de uma proximidade dos dados coletados nesse trabalho com as linhas de tendências dos N. de Piscinas e FPCA do PSwT com e sem o GS, o que sugere uma validade.

Em suma, a partir da análise do grupo de voluntários que participaram da validação para o estudo de desenvolvimento do equipamento pode-se destacar que houve uma grande satisfação dos voluntários em utilizar um equipamento que pudesse ritmar o nado e uma indicação de validação por critério a partir dos dados fornecidos por eles, conforme estudos anteriores, ficando evidenciado a necessidade de estudos futuros com um maior quantitativo de voluntários para a validação PSwT com GS.

5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

O GS desenvolvido com o objetivo de auxiliar praticantes de natação e profissionais da educação física que encontram dificuldades de localizar equipamentos para avaliação de nadadores com menor custo, permitindo que esses atletas sejam testados para uma melhor avaliação e prescrição dos treinamentos com melhor rendimento.

Neste sentido, foi desenvolvido com hardware *open source* para ter sua usabilidade por meio de uma central de comandos que torna o uso com a proximidade de água mais seguro, não colocando em risco de acidentes aquáticos outros equipamentos eletrônicos. A central além de dar início ao PswT pode programar os treinamentos com distância de nado, tempo para o nado, intervalo e número de séries, dessa forma ele cumpre todos seus objetivos.

O equipamento logo receberá novas versões em que suas centrais de comandos serão totalmente impermeáveis, igualmente aos LED's, tornando o equipamento livre de qualquer possibilidade de acidentes que possam causar danos pelo contato com a água. O referido está entrando no processo de industrialização já com demonstração de interesse de aquisição por clubes de natação.

Diante disso, como perspectivas futuras para o equipamento tem-se a aplicação do GS em um maior número de praticantes de natação para que seja possível fazer uma validação por critério, bem como o desenvolvimento de acessórios que permitam a conexão para análises diretas, com cardiófrequencímetros e ventilômetros possibilitando uma análise direta dos nadadores no momento da execução do PswT, inclusive um sistema de monitoramento possibilitando aos profissionais da educação física um melhor acompanhamento dos nadadores durante a execução de um treinamento prescrito.

REFERÊNCIAS

BALDARI, C., MEUCCI, M., BOLLETA, F., GALLOTA, M. C., EMERENZIANI, G. P., & GUIDETTI, L. (2015). Accuracy and reliability of COSMED K5 portable metabolic device versus simulating system. **Sport Sciences for Health**, 11, (Supplement 1), S1–S58. Disponível em: <https://www.cosmed.com/en/news/science-news/item/accuracy-and-reliability-of-cosmed-k5-portable-metabolic-device-versus-simulating-system>. Acesso em

BOMPA, T. O. **Treinamento Total para Jovens Campeões**. Tradução de Cássia Maria Nasser. Revisão Científica de Aylton J. Figueira Jr. Barueri: Manole, 2002. 248p.

CAPUTO, F.; OLIVEIRA, M.F.M.; DENADAI, B.S.; GRECO, C.C. Fatores intrínsecos do custo energético da locomoção durante a natação. **Revista Brasileira de Medicina e Esporte**, São Paulo, v. 12, n. 6, p.399-404, 2006. Disponível em: http://oasisbr.ibict.br/vufind/Record/SBMEE1_4da580782d1adab2d9b618d0e121814b. Acesso em

CASTRO, F. A. de S., OLIVEIRA, T. S., MORÉ, F. C., & MOTA, C. B. (2010). Relações entre desempenho em 200 m nado crawl e variáveis cinéticas do teste de nado estacionário. **Revista Brasileira de Ciências do Esporte**. Campinas, v. 31, n. 3, 2010, p. 61–176. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0101-32892010000300011&script=sci_abstract&lng=pt. Acesso em 15 de janeiro de 2019.

COLANTONIO, E., & KISS, M. A. P. D. M. (2007). Análise das velocidades: Referencial de 4mM, de equilíbrio de 30 min e velocidade crítica em nadadoras adolescentes. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**. v. 13, n. 6, 387–392. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbme/v13n6/06.pdf>. Acesso em

COSTA, A. V. da., COSTA, M.; CARLOS, D., GUERRA, L., SILVA, A., & BARBOSA, T. (2012). Reproducibility of an aerobic endurance test for nonexpert swimmers. **Journal of Multidisciplinary Healthcare**. v. 5, 2012, p. 215–221.

COSTA, A. V. da; COSTA, M., OLIVEIRA, S., ALBUQUERQUE, F., GUIMARÃES, F., & BARBOSA, T. (2013). Validation of an equation for estimating maximal oxygen consumption of nonexpert adult swimmers. **Open Access Journal of Sports Medicine**. v. 4, 2013, p. 19–25.

COSTA, A. V. da, COSTA, M. da C., GOMES, J. L. D. B., GUIMARÃES, F. J. D. S. P., & BARBOSA, T. M. (2016). Applicability of an indirect VO₂max Test: Its association with the 400 meters freestyle performance. Motriz. **Revista de Educação Física**. v. 22, n. 4, 2016, p. 304–309. Disponível em

DANIEL, C. T., KLEIN, J. D., & BRUSAMARELLO, V. J. (2008). Testes físicos com transmissão de dados sem fios. **Revista de Iniciação Científica da ULBRA**. 231–239. Disponível em: <http://www.periodicos.ulbra.br/index.php/ic/article/view/1658/1176>. Acesso em

DA COSTA, L. P. (Org.). **Atlas do Esporte no Brasil: atlas do esporte, educação física e atividades físicas de saúde e lazer no Brasil**. Rio de Janeiro: Shape; 2005.

DEMINICE, R., PAPOTI, M., MOURA ZAGATTO, A., VIEIRA, M., & JÚNIOR, P. (2007). Validade do teste de 30 minutos (T-30) na determinação da capacidade aeróbia, parâmetros de braçada e performance aeróbia de nadadores treinados. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**. v. 13, n. 3, 2007, p.195–199. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-86922007000300013. Acesso em

ESCALANTE, Y., & SAAVEDRA, J. M. (2012). Swimming and Aquatic Activities: State of the Art. **Journal of Human Kinetics**. v. 32, 5–7. Disponível em: <http://www.johk.pl/files/1escalante-01.pdf>. Acesso em

FERNANDES FILHO, J. A **prática da avaliação física**., Shape, 2. ed. Rio de Janeiro, 2003.

MADER, A.; LIESE, H.; HECK, H.; PHILIPPI, H.; ROST, R.; SCHÜCH, P.; & HOLLMANN, W. (1976). Zur Beurteilung der sportartspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit im Labor. **Sportarzt Sportmed.** v. 27, 80–88. Disponível em: <https://www.bisp-surf.de/Record/PU197800024058>. Acesso em

Mauricio, C. O., Rungue, M. S., Larraguibel, R., Ortega, D. R., & Berral de la Rosa, F. J. (2013). Confiabilidade entre sessões de avaliação de equilíbrio com TOBtrainerMR. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte.** v. 19, n. 5, 2013, 376–378. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1517-86922013000500016&lng=en&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em

MAGLISCHO, E.W. **Nadando ainda mais rápido.** São Paulo: Manole, 1999.

MCARDLE WD, KATCH FI, KATCH VL. **Fisiologia do Exercício, Energia, Nutrição e Desempenho Humano.** 5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2003.

MONK, S.. **Programação com Arduino: começando com sketches.** Bookman Editora, Porto Alegre, 2013.

OLBRECHT, J., MADER, A., LIESEN, H., & HOLLMANN, W. (1985). Relationship Between Swimming Velocity and Lactic Concentration During Continuous and Intermittent Training Exercises. **International Journal of Sports Medicine.** v. 6, n. 2, 1985, p. 74-77.

RIBEIRO, J., FIGUEIREDO, P., GUIDETTI, L., ALVES, F., TOUSSAINT, H., VILASBOAS, J. P., BALDARI, C., et al. (2016). AquaTrainer® Snorkel does not Increase Hydrodynamic Drag but Influences Turning Time. **International Journal of Sports Medicine.** v. 37, n. 4, 2016, p. 324-328.

SANTOS, M. A. M., Barbosa Junior, M. L., Melo, W.V.C., Veronese da Costa, A., Costa, M. C. (2012). Estimate of propulsive force in front crawl swimming in young athletes. **Open Access Journal of Sports Medicine**. v. 3, 2012, p. 115-120.

SOUSA, M. de, SCHWARZ, L., SILVEIRA, J. L., & KÜLKAMP, W. (2012). Utilizando um Acelerômetro. **Revista Ilha Digital**. v. 3, 2012, p. 19–25.

WEINECK, J. **Adaptação como pré-requisito básico do treinamento esportivo: biologia do esporte**. Manole, 2. ed. São Paulo, 2000.