



Jéssyca Karolinny da Silva Amorim

**Desenvolvimento de um sistema com  
dispositivo portátil para auxílio no diagnóstico  
de Coarctação da Artéria Aorta em Neonatos.**

Recife

2018

Jéssyca Karolinny da Silva Amorim

**Desenvolvimento de um sistema com dispositivo portátil  
para auxílio no diagnóstico de Coarctação da Artéria  
Aorta em Neonatos.**

Monografia apresentada ao Curso de Bacharelado em Ciência da Computação da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação.

Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE

Departamento de Computação

Curso de Bacharelado em Ciência da Computação

Orientador: Abner Corrêa Barros

Recife

2018

# Agradecimentos

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus e a Nossa Senhora, pela graça de está hoje concluído mais essa etapa de vida. Gostaria de agradecer ao meus pais, José Canuto e Maria do Carmo, por todo o esforço que eles fizeram pra me dá a melhor educação que eu poderia ter, junto com a minha irmã Julyanna que estiveram ao meu lado me dando todo o apoio necessário, aguentando meus estresses e nunca me deixaram faltar nada. Agradeço ao Professor Abner Barros por todo seu esforço e dedicação ao projeto e por todo conhecimento no qual ele me passou nesses anos. Agradeço a toda equipe do Círculo do Coração, liderado pela doutora Sandra Mattos, pela oportunidade de projeto. Agradeço a todo que fazem o Departamento de Computação. E por fim, mas não menos importante, deixo também meus mais sinceros agradecimentos a todos os meus familiares e amigos que em algum momento dessa caminhada me escutou, me apoiou, torceu por mim e me colocou em suas orações.

*“Pois, pra te adorar foi que eu nasci.”*  
*(Vilma Dantas)*

# Resumo

Nos últimos anos, os avanços da tecnologia têm trazido incontestáveis benefícios à vida humana notadamente na área da medicina. Com o desenvolvimento tecnológico, procedimentos e exames que até pouco tempo eram tidos como inviáveis técnica e economicamente, vieram a se tornar usuais e até mesmo corriqueiros no tratamento e no diagnóstico de inúmeras doenças. Entretanto, infelizmente, todo este desenvolvimento não tem sido suficiente para propiciar um diagnóstico precoce de algumas doenças congênitas, notadamente as Cardiopatias Congênitas (CC), destacando entre estas a Coarctação da Aorta (CoA). Os métodos de diagnósticos disponíveis atualmente são ineficaz, não permitindo um diagnóstico precoce, o que, devido a complicações, pode levar o paciente ao colapso cardíaco, com possíveis consequências neurológicas e até mesmo à morte. O presente trabalho tem como objetivo oferecer sua contribuição com o tema por meio da participação no desenvolvimento de um dispositivo computacional para a realização da fotopletismografia simultânea de dois canais, trabalhando diretamente no desenvolvimento e validação dos algoritmos de das curvas fotopletismográfica (PPG) de neonatos a fim de auxiliar na identificação e no diagnóstico de CoA.

**Palavras-chave:** Coactação da Aorta, Fotopletismografia, Sistemas Embarcados e Processamento de sinal.

# Abstract

In recent years, advances in technology have brought unquestionable benefits to human life. Especially in the medical field, where some techniques and tests that were considered technically and economically unviable, have become usual. However, in some cases, the actual technology has not been sufficient to provide an early diagnosis of congenital diseases. It happens with Congenital Heart Disease (CC), with the most common CC being the Coarctation of the Aorta (CoA). Currently, available diagnostic methods are ineffective, leading to late diagnosis, which can lead to cardiac collapse, neurological damage, and death. In this way, the present work aims to propose an alternative to the development of a computational system that captures, by a low cost and mobile embedded device, and evaluate the photoplethysmographic (PPG) tags of neonates in order to aid in the identification and in diagnosis of CoA.

**Keywords:** Coarctation of the Aorta, Photoplethysmographic, Embedded Systems e Signal Processing.

# Lista de ilustrações

Figura 1 – Ilustração da coartação da Aorta. - Fonte: (MELO, 2017) . . . . .	10
Figura 2 – Onda fotopleletismográfica. - Fonte: (MELO, 2017) . . . . .	11
Figura 3 – Ilustração 2 da coartação da Aorta. - Fonte: (BLAUSEN.COM, ) . . .	13
Figura 4 – Ilustração da utilização de luz e um fotodetector para descobrir a quantidade de sangue no capilar. - Fonte: ( <a href="https://easytromlabs.com/category/intel-edison/?print=print-search">https://easytromlabs.com/category/intel-edison/?print=print-search</a> ) . . . . .	14
Figura 5 – Ilustração da curva. - Fonte: (MELO, 2017) . . . . .	14
Figura 6 – Ilustração da absorção de luz pelo sangue. - Fonte: ( <a href="https://easytromlabs.com/category/intel-edison/?print=print-search">https://easytromlabs.com/category/intel-edison/?print=print-search</a> ) . . . . .	15
Figura 7 – Diferença dos tempos de chegada de pulso e amplitude entre os membros superior e inferior . . . . .	15
Figura 8 – Dispositivo desenvolvido . . . . .	17
Figura 9 – Arquitetura interna da família de microcontroladores . . . . .	18
Figura 10 – Fluxograma da captura de curvas PPG com o dispositivo usado . .	19
Figura 11 – Posicionamento das ponteiras . . . . .	20
Figura 12 – Ilustração teste de concavidade. - Fonte: Adaptação do ( <a href="https://sites.google.com/site/matematicacpu/home">https://sites.google.com/site/matematicacpu/home</a> ) . . . . .	21
Figura 13 – Exemplo da funcionalidade do código. . . . .	22
Figura 14 – Fluxograma do algoritmo de processamento de curvas. . . . .	23
Figura 15 – Responsáveis pela caravana do coração. . . . .	24
Figura 16 – Coleta dos dados. . . . .	25
Figura 17 – Relação idade com atraso das curvas PPG. . . . .	25
Figura 18 – Relação atraso das curvas PPG com frequência cardíaca. . . . .	26

# Lista de abreviaturas e siglas

CC	Cardiopatía Congênita
CCC	Cardiopatía Congênita Crítica
CoA	Coarctação da Aorta
PPG	Fotopletismografia
UTI	Unidade de Terapia Intensiva
LED	Diodo Emissor de Luz
BPM	Batidas por minuto



# Sumário

	<b>Lista de ilustrações</b> . . . . .	<b>6</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> . . . . .	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA</b> . . . . .	<b>12</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> . . . . .	<b>17</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b> . . . . .	<b>24</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> . . . . .	<b>27</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> . . . . .	<b>28</b>
<b>6</b>	<b>ANEXO 1</b> . . . . .	<b>30</b>
<b>7</b>	<b>ANEXO 2</b> . . . . .	<b>32</b>

# 1 Introdução

Nos últimos anos, os avanços da tecnologia têm trazido incontestáveis benefícios à vida humana. Isso pode ser percebido nas mais diversas áreas, tais como: mobilidade urbana, telecomunicação, construção civil e, principalmente, na área médica. Com o desenvolvimento tecnológico procedimentos e exames que até pouco tempo eram tidos como inviáveis técnica e economicamente, vieram a se tornar usuais e até mesmo corriqueiros no tratamento e no diagnóstico de inúmeras doenças.

Entretanto, em alguns casos, todo este desenvolvimento não tem sido suficiente para propiciar um diagnóstico precoce de doenças que, devido a falta de tratamento adequado no momento oportuno, acabam trazendo dor e sofrimento a muitos pacientes e um custo elevado aos cofres públicos. Dentre estas doenças destacam-se àquelas de origem congênita, em especial as ligadas a má formação do feto que, se diagnosticadas de forma tardia, podem levar a óbito ou a invalidez permanente.

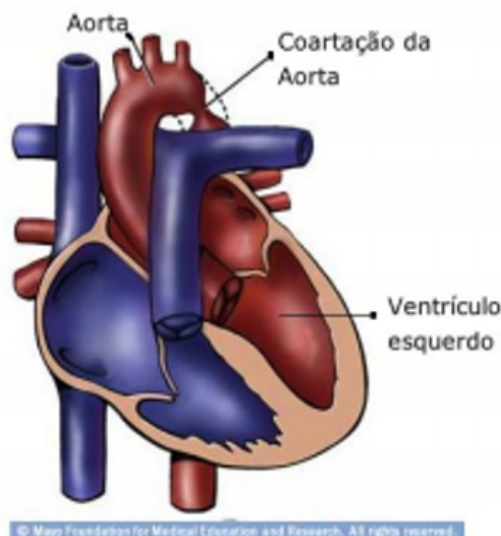
Neste cenário destacam-se as doenças congênitas que por fim darão origem a problemas cardíacos, também conhecidas como Cardiopatias Congênitas (CC). A incidência de CC's é estimada em cerca de 8 para cada 1000 nascidos vivos ([LINDE et al., 2011](#)). Tendo em vistas dados publicados pelo Ministério da Saúde do Brasil, o qual indica o registro de mais de 3 milhões de crianças nascidas vivas no ano de 2015, é possível estimar que nesse único ano tenham ocorrido mais de 24 mil casos de Cardiopatias Congênitas em nosso país.

As CC's são classificadas de acordo com sua gravidade, podendo variar entre CC's de baixa gravidade, ou seja, àquelas que com o passar do tempo são corrigidas pelo próprio organismo, até aquelas de alto risco, conhecidas como Cardiopatias Congênitas Críticas (CCC), as quais possuem necessidade da realização de procedimentos cirúrgicos ou de algum outro tipo de intervenção médica agressiva. Quando uma CCC não é diagnosticada e não recebe a intervenção necessária pode causar colapso circulatório ou morte antes de 2 meses de idade ([GRANELLI, 2009](#)).

Uma das Cardiopatias Congênitas Críticas de impacto relevante é a Coarctação da Aorta (CoA), doença caracterizada por um estreitamento da primeira porção da aorta descendente ([GROSS, 1950](#)). Essa situação é ilustrada na figura 1. A CoA possui uma incidência de até 4,4 a cada 10000 nascidos vivos ([RELLER et al., 2008](#)). Novamente, fazendo-se uma correlação com o levantamento do Ministério da Saúde, é possível estimar que tenham ocorrido mais de 1.300 novos casos de CoA no Brasil apenas no ano de 2015.

Esse é um dado preocupante uma vez que o diagnóstico tardio da CoA pode le-

Figura 1 – Ilustração da coartação da Aorta. - Fonte: (MELO, 2017)



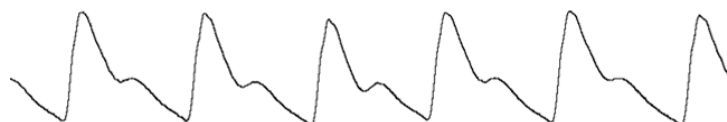
var ao desenvolvimento de diversas complicações: Tais como hipertensão, aneurisma da aorta, ruptura da aorta, acidentes cerebrovasculares e outras. Atualmente um dos métodos utilizados na detecção da CoA é um exame físico que inclui a palpação dos pulsos radial e femoral para verificar se há um atraso perceptível de chegada entre eles (MELO, 2017).

Uma alternativa para o diagnóstico tem sido estudada por alguns especialistas e pesquisadores e propõe o uso de dados extraídos da curva fotopleletismográfica, para auxiliar no diagnóstico da CoA. O termo Pletismografia é utilizado para denominar a ação de registrar o volume de um órgão ou membro do corpo, através da medição das variações da quantidade de sangue presente ou que passa por ele (MELO, 2017). Por sua vez, foto é um prefixo associado a “luz”. Fotopleletismografia é portanto a técnica que permite o levantamento da curva pletismográfica de maneira não invasiva, utilizando o índice de refração ou também do índice da reflexão da luz de determinados comprimentos de onda ao passar pelos tecidos do corpo do paciente.

Uma das aplicações mais usuais da fotopleletismografia é na construção de equipamentos que medem a saturação de oxigênio no corpo, conhecidos como Oxímetros. Esses dispositivos utilizam a diferença no índice de refração da luz no comprimento da luz vermelha, 640 nm, e infravermelha, 750 nm, para medir a saturação do oxigênio no sangue que variam ao passar pelo corpo do paciente. Neste processo é gerada uma curva fotopleletismográfica (onda PPG), também conhecida como onda do oxímetro de pulso (HERKOMMER; REICHERT, 2016). A figura 5 ilustra o formato dessa curva. Atualmente o acompanhamento visual das características da onda PPG pelos profissionais da saúde serve apenas para a validação se os valores de saturação indicados no oxímetro de pulso são confiáveis (ALIAN; SHELLEY, 2014). Se a onda PPG

contiver muitos artefatos, ruídos e ondas espúrias geradas por mal acoplamento do dispositivo de medição ou por interferência eletromagnética, a medida de saturação não é confiável.

Figura 2 – Onda fotopletismográfica. - Fonte: (MELO, 2017)



Existem no mercado diversos modelos oxímetros, os quais funcionam baseados na mesma técnica de medição, variando entretanto na qualidade da medição e nos recursos diagnósticos que disponibiliza para os agentes de saúde. Dependendo da sua aplicação, estes dispositivos podem ser portáteis, pequenos o suficiente para caber no bolso dos profissionais de saúde, médicos e enfermeiros, ou por outro lado, estarem acoplados outros dispositivos de monitoramento e auxílio de pacientes acamados ou com doenças graves em UTIs.

Entretanto, em todos os casos, a curva fotopletismográfica visualizada durante o processo de medição é utilizada basicamente apenas para validar a confiabilidade da medida de saturação do oxigênio apresentada pelo equipamento, não tendo outro fim para diagnóstico. Em nenhum dos casos a curva é armazenada ou disponibilizada para outros fins de análise, o que infelizmente inviabiliza o uso destes dispositivos para a análise e para o diagnóstico de CoA.

Desta forma, o presente trabalho se propõe ao desenvolvimento de um sistema computacional que capture e avalie as curvas fotopletismográfica de neonatos a fim de auxiliar na pesquisa da validação do método proposto do uso das curvas PPG no diagnóstico de Coa em neonatos.

## 2 Revisão da Literatura

De acordo com Bronberg 2014, em boa parte dos países Latinos americanos, as malformações congênitas foram uma das principais causa de morte de crianças com menos de 1 ano de idade, contribuindo com taxas que variam de 2 a 27% do total de óbitos. No Brasil, desde 2001 as malformações congênitas já são a segunda causa de mortalidade infantil em crianças com menos de um ano de idade (AMORIM et al., 2008). Dentre estas, as cardiopatias congênitas ou CC estão entre as malformações mais comuns (LINDE et al., 2011).

As CCs mais rigorosas, que requerem tratamento e/ou intervenções cirúrgicas logo no primeiro ano de vida, são denominados Cardiopatias Congênitas Críticas (CCC). Essas correspondem em média de 25 a 40% de todas as CCs (HOFFMAN, 2011).

O tempo necessário para a detecção e diagnóstico de uma CCC é algo essencial para a evolução do tratamento, principalmente em neonatos, principalmente tendo em vista a redução do risco de sequelas e de mortalidade (GRIEBSCH et al., 2007).

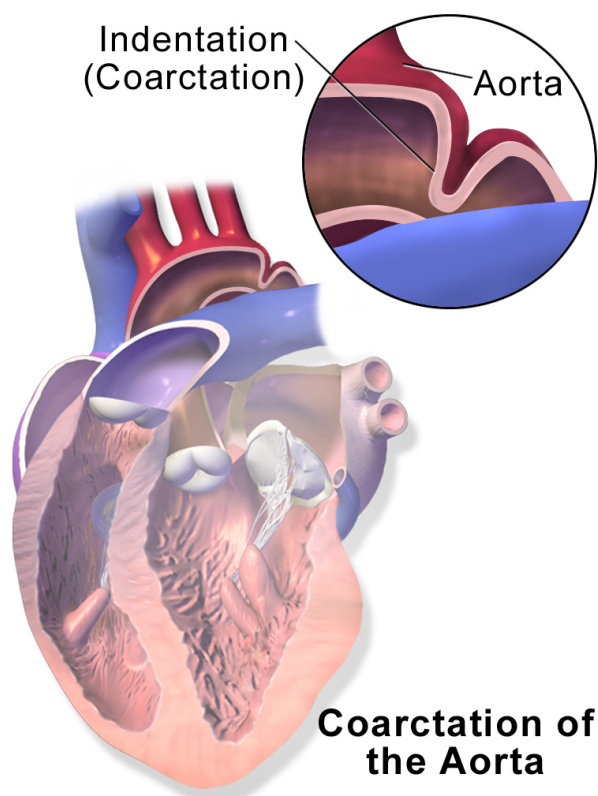
Apesar dos exames de acompanhamento pré-natal realizados atualmente permitirem a identificação e o diagnóstico de inúmeros problemas com o feto, com destaque para aqueles que podem exigir intervenção intra-uterina ou logo após o parto, ainda é significativo o número de bebês que recebem alta das maternidades sem o diagnóstico correto para alguns tipos de CCC, entre estes a Coarctação da Aorta (RIEDE et al., 2010).

A Coarctação da Aorta, também conhecida conhecida como CoA, é uma doença congênita que configura-se por um estreitamento da primeira porção da aorta descendente (GROSS, 1950), ilustrada na figura 3, que causa um aumento da pressão sanguínea na cabeça e nos membros superiores e pressão reduzida no corpo e nos membros inferiores (FREITAS, 2016). Estudos recentes mostram que a incidência de CoA em neonatos pode chegar á 4,4 a cada 10000 nascidos vivos. (MELO, 2017)

Segundo PUNUKOLLU; HARNDEN; TULLOH 2011, a CoA é uma das cardiopatias cardíacas críticas com maior risco de não ser diagnosticada ou de ser diagnosticada de forma tardia. O atraso no diagnóstico da CoA pode levar a colapso cardíaco, danos neurológicos e à morte (PALMERI, 2014)(FREITAS, 2016).

Atualmente a triagem para a detecção da CoA em neonatos é efetuada por meio de exame clínico que inclui a palpação das artérias radial e femoral paraverificar a diferença de amplitude e o atraso de chegada entre os sinais de pulsação. A identificação

Figura 3 – Ilustração 2 da coarctação da Aorta. - Fonte: (BLAUSEN.COM, )



de atraso na chegada do pulso femoral juntamente com uma diminuição da sua amplitude são considerados indicadores característicos de presença de CoA (PALMERI et al., 2016).

Apesar de sua aparente simplicidade, esse procedimento apresenta algumas dificuldades na sua implementação, os quais podem levar a um alto grau de incerteza no diagnóstico. Entre outras coisas é necessário que o médico tenha passado por um treinamento rigoroso a fim de poder identificar com clareza os sinais da CoA. Entretanto, mesmo assim, existe sempre o risco da falha humana, tendo em vista que o especialista sempre sofre, em maior ou menor grau, da influência das diversas variáveis ambientais que o cercam.

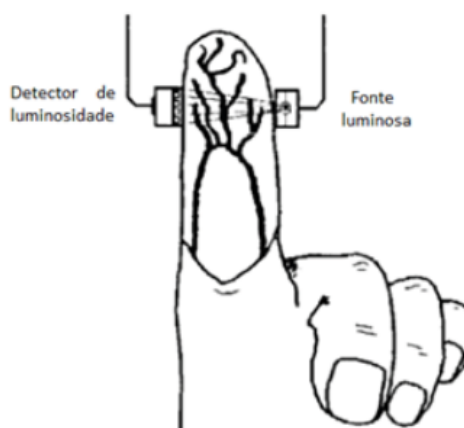
Uma alternativa diagnóstica para a triagem de neonatos com indicativo de CoA surgiu em 2016, quando Palmeri e sua equipe realizaram um estudo comparativo com 40 recém nascidos, sendo 8 com CoA e 32 saudáveis no grupo de controle, comparando sinais fotoplestomográficos, também denominados de onda PPG, capturados da mão e pé direitos simultaneamente, com o objetivo de mensurar o atraso de tempo de chegada bem como a variação de amplitude do pulso do pé em relação ao pulso na mão (PALMERI et al., 2016)

O sinal fotoplestomográfico é um sinal obtido durante a realização do exame de fotoplestografia. A fotoplestografia é a técnica que permite a realização do exame

de pletismografia venosa por meio da luz. A pletismografia venosa por sua vez é o exame que objetiva avaliar modificações de volume de uma parte do corpo, órgão ou membro por meio da medição do volume de sangue que o irriga.

Atualmente uma das principais aplicações das ondas PPG é na identificação do nível de saturação do oxigênio no sangue em aparelhos denominados de oxímetros. Os oxímetros funcionam a partir da medição da intensidade da luz que passa pelos tecidos sob análise, conforme a figura 4 a seguir. Normalmente se utilizam duas fontes de luz distintas, em dois comprimentos de onda, que em geral estão nas faixas do vermelho (650 a 750nm) e do infravermelho (IR) (900 a 1000 nm) para determinar a saturação de oxigênio no sangue (WUKITSCH et al., 1988). Esta medição aproveita-se do fato de que a hemoglobina oxigenada presente no sangue (HbO<sub>2</sub>) absorve mais luz na faixa de IR, enquanto a hemoglobina desoxigenada (Hb) absorve mais luz na faixa do vermelho (WUKITSCH et al., 1988). Ao verificar-se a relação entre as intensidades da luz nos dois comprimentos de onda é possível inferir a relação entre as taxas de HbO<sub>2</sub> e Hb presentes no sangue.

Figura 4 – Ilustração da utilização de luz e um fotodetector para descobrir a quantidade de sangue no capilar. - Fonte: (<https://easytromlabs.com/category/intel-edison/?print=print-search>)



Por outro lado, tendo em vista que o sangue circula pelo organismo de forma pulsante, sendo bombeado pela pulsação cardíaca, o sinal resultante da passagem da luz pelos tecidos, a onda PPG, registrará esta pulsação na forma da amplitude do sinal registrado, conforme pode ser visto nas Figuras 5 e 6 a seguir.

Figura 5 – Ilustração da curva. - Fonte: (MELO, 2017)

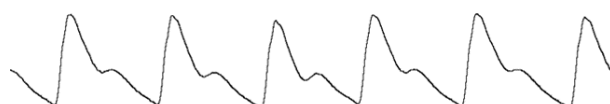
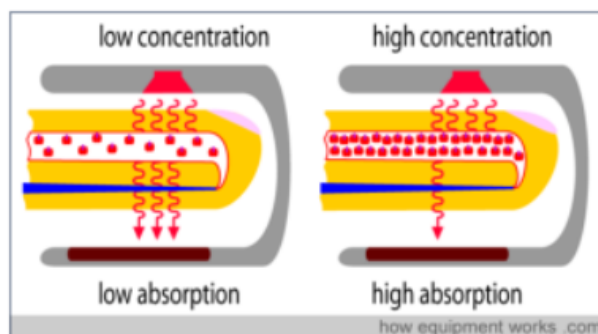
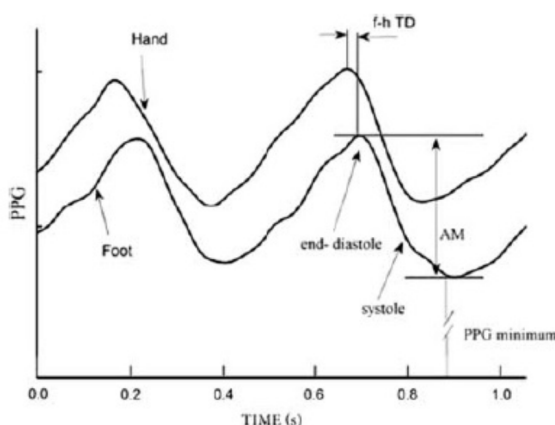


Figura 6 – Ilustração da absorção de luz pelo sangue. - Fonte: (<https://easytromlabs.com/category/intel-edison/?print=print-search>)



Os estudos realizados por Palmeri et al. 2016 apontam resultados nos quais os bebês com CoA apresentaram um maior atraso no tempo de chegada dos sinais PPG do que em bebês saudáveis. A diferença entre os tempos de chegada, bem como entre as amplitudes dos picos dos pulsos foram medidas e identificadas conforme ilustra a Figura 7 a seguir, onde f-hTD identifica o atraso entre a chegada do pulso no membro superior e no membro inferior e AM é a medida da amplitude média do pulso no membro inferior. Palmeri verificou que a f-hTD dos bebês com CoA foi maior que nos saudáveis com médias e desvios-padrão da f-hTD de  $73;2 \pm 26;6$  ms nos bebês com CoA em comparação com  $35;2 \pm 8;3$  ms, para os bebês saudáveis.

Figura 7 – Diferença dos tempos de chegada de pulso e amplitude entre os membros superior e inferior



Ao observar os resultados obtidos por Palmeri verifica-se que, apesar de mensurável, os valores de atraso dos tempos de chegada dos pulsos entre os membros inferior e superior encontram-se no limiar do que pode ser percebido pelo ser humano comum, que estaria em torno de 50 ms (STAFF, 2015).

Desta forma, tomando como base os resultados obtidos por Palmeri, verifica-se que de fato o ideal seria a utilização de um dispositivo eletrônico que pudesse identificar este atraso. Entretanto, até onde nos foi possível verificar, não foi identificada



a existência de um dispositivo comercial que realize a fotopletismografia simultânea, condição essencial à medição do atraso de chegada entre os sinais de pulso, e que permita o registro e o armazenamento das curvas PPG geradas em cada canal para posterior análise e/ou processamento, de forma que este atraso possa ser identificado de maneira automática ou por meio de um especialista. Entretanto, em 2017 (MELO, 2017), em sua dissertação de mestrado, deu início ao desenvolvimento de um dispositivo com estas características . É objetivo deste trabalho dar seguimento a esse projeto, desenvolvendo os algoritmos de processamento e extração automática das características das curvas PPG.

## Referências

- ALIAN, A. A.; SHELLEY, K. H. Photoplethysmography. *Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology*, Elsevier, v. 28, n. 4, p. 395–406, 2014. Citado na página 10.
- AMORIM, L. F. et al. Presentation of congenital heart disease diagnosed at birth: analysis of 29,770 newborn infants. *Jornal de pediatria*, SciELO Brasil, v. 84, n. 1, p. 83–90, 2008. Citado na página 12.
- BLAUSEN.COM equipe do. Galeria médica de blausen medical 2014. *WikiJournal of Medicine 1 (2): 10*, doi: 10.15347/wjm / 2014.010 . ISSN 2002-4436. Citado 2 vezes nas páginas 6 e 13.
- BRONBERG, R. et al. Spatial and temporal analysis of infant mortality from congenital malformations in brazil (1996–2010). *Journal of community genetics*, Springer, v. 5, n. 3, p. 269–282, 2014. Citado na página 12.
- FREITAS, C. P. G. de. Nomogramas para saturações de oxigênio de neonatos triados para cardiopatias congênitas na população paraibana. *Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Pernambuco*, 2016. Citado na página 12.
- GRANELLI, A. de W. *Pulse oximetry: Evaluation of a potential tool for early detection of critical congenital heart disease*. [S.l.: s.n.], 2009. Citado na página 9.
- GRIEBSCH, I. et al. Comparing the clinical and economic effects of clinical examination, pulse oximetry, and echocardiography in newborn screening for congenital heart defects: a probabilistic cost-effectiveness model and value of information analysis. *International journal of technology assessment in health care*, Cambridge University Press, v. 23, n. 2, p. 192–204, 2007. Citado na página 12.
- GROSS, R. E. Coarctation of the aorta. *Circulation*, Am Heart Assoc, v. 1, n. 1, p. 41–55, 1950. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 12.
- HERKOMMER, A.; REICHERT, C. Design and implementation of a low-cost pulse oximeter kit for developing and educational purposes. 2016. Citado na página 10.
- HOFFMAN, J. I. It is time for routine neonatal screening by pulse oximetry. *Neonatology*, Karger Publishers, v. 99, n. 1, p. 1–9, 2011. Citado na página 12.
- LINDE, D. van der et al. Birth prevalence of congenital heart disease worldwide. *Journal of the American College of Cardiology*, Journal of the American College of Cardiology, v. 58, n. 21, p. 2241–2247, 2011. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 12.
- MELO, J. E. D. A. Um sistema embarcado para captura e análise de sinais fotopletiográficos de duplo canal simultâneo para detecção de coa. *Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Pernambuco*, 2017. Citado 7 vezes nas páginas 6, 10, 11, 12, 14, 16 e 17.
- PALMERI, L. et al. Photoplethysmographic waveform characteristics of newborns with coarctation of the aorta. *Journal of Perinatology*, Nature Publishing Group, 2016. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 15.

PALMERI, L. C. Detection of aortic coarctation in newborns by photoplethysmographic waveform analysis. In: AMERICAN ACADEMY OF PEDIATRICS. *2014 AAP National Conference and Exhibition*. [S.l.], 2014. Citado 2 vezes nas páginas 12 e 27.

PUNUKOLLU, M.; HARNDEN, A.; TULLOH, R. Coarctation of the aorta in the newborn. *BMJ: British Medical Journal (Online)*, BMJ Publishing Group LTD, v. 343, 2011. Citado na página 12.

RELLER, M. D. et al. Prevalence of congenital heart defects in metropolitan atlanta, 1998-2005. *The Journal of pediatrics*, Elsevier, v. 153, n. 6, p. 807–813, 2008. Citado na página 9.

RIEDE, F. T. et al. Effectiveness of neonatal pulse oximetry screening for detection of critical congenital heart disease in daily clinical routine—results from a prospective multicenter study. *European journal of pediatrics*, Springer, v. 169, n. 8, p. 975–981, 2010. Citado na página 12.

STAFF, P. *How Fast is Realtime? Human Perception and Technology*. 2015. Disponível em: <<https://www.pubnub.com/blog/how-fast-is-realtime-human-perception-and-technology/>>. Citado na página 15.

WUKITSCH, M. W. et al. Pulse oximetry: analysis of theory, technology, and practice. *Journal of Clinical Monitoring*, Springer, v. 4, n. 4, p. 290–301, 1988. Citado na página 14.