



Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial

A Termografia como Base de Avaliação Biomecânica em Contexto de Investigação e Observação Clínica

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em
Engenharia e Gestão Industrial

Autor

Ana Renata Gomes Dionísio

Orientador

Prof. Doutor Luis Manuel Ferreira Roseiro

Professor do Departamento de Engenharia Mecânica
Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

Coimbra, setembro, 2017

Dedico este trabalho aos meus pais e irmã

Agradecimentos

Ao Professor Doutor e Orientador Luis Manuel Ferreira Roseiro por toda a dedicação, pelo apoio incansável, acompanhamento e incentivo prestados ao longo da realização deste trabalho.

Ao Doutor Júlio Fonseca pela atenção, contributo e disponibilidade prestados.

Ao Doutor Filipe Carvalho pela colaboração e disponibilidade prestada e ao Centro de Medicina de Reabilitação da Região Centro – Rovisco Pais pelo acesso aos pacientes e cooperação para a realização do estudo.

Ao Professor Luís Margalho pela permanente prontidão e contributo prestados ao longo do trabalho.

Aos meus pais, mestres da minha vida, pelo apoio incondicional, por serem o meu pilar em todos os momentos e pelos valores transmitidos que fizeram de mim aquilo que sou hoje.

À minha irmã, por todas as palavras de encorajamento, conselhos e apoio.

Ao meu namorado, pelo apoio, compreensão e por nunca permitires que o desânimo ou cansaço falasse mais alto.

À Mestre Linda Pinto, pela colaboração prestada e pelo companheirismo.

Aos colegas do Laboratório de Biomecânica Aplicada, pelo companheirismo, pelos momentos e conhecimentos partilhados.

Aos meus amigos, aqueles que sempre me apoiaram e acompanharam ao longo do meu percurso académico.

A todos aqueles que participaram voluntariamente, pela disponibilidade e atenção.

Resumo

A utilização de termografia é cada vez mais comum em vários domínios do conhecimento, sendo uma ferramenta fundamental em diversos procedimentos de monitorização e de avaliação. Inicialmente implementada em vigilância militar, esta tecnologia tem vindo a evoluir nos últimos anos, com aplicações em processos produtivos, de manutenção industrial, entre outros. Atendendo às suas potencialidades, a termografia pode desempenhar um papel relevante em contextos médicos, quer como ferramenta de apoio na avaliação e diagnóstico, quer como forma de monitorizar a recuperação de pacientes. A termografia pode também ter um papel importante no apoio a diversas avaliações e apoio à decisão em atividades desportivas e ocupacionais. Apesar dos estudos existentes envolvendo a termografia em contexto de aplicações biomecânicas, o reconhecimento da viabilidade na sua utilização é ainda limitado. Reconhecendo as potencialidades associadas à utilização da termografia, este trabalho pretende ser um contributo para a demonstração da viabilidade da sua implementação como técnica de apoio em contexto biomecânico. Neste sentido, com o suporte de especialistas da área médica, foram estudadas situações de implementação da termografia como ferramenta de apoio, envolvendo a biomecânica ocupacional, orofacial e reabilitação físico-motora. O trabalho teve como suporte a utilização de um equipamento de registo de vídeo termográfico, da marca *FLIR*, assim como software de apoio no processamento e análise dos dados. Os resultados obtidos são apresentados e discutidos, demonstrando a importância que a termografia pode desempenhar como ferramenta de apoio nos domínios estudados.

Palavras-chave: Termografia; Biomecânica Orofacial; Biomecânica de Reabilitação; Biomecânica Ocupacional; Avaliação Clínica.

Abstract

The use of thermography is increasingly common in several fields of knowledge, being a fundamental tool in several monitoring and evaluation procedures. Initially implemented in military surveillance, this technology has been evolving over the past few years, with applications in production processes, industrial maintenance, among others. Given its potential, it can also play an important role in medical contexts, either as a tool for medical evaluation and diagnosis, or as a way to monitoring patients recovering. Thermography can also play an important role in which concerns different evaluations and as a support for making a decision in sport and occupational activities. Despite the existing studies involving thermography in the context of biomechanical applications, the recognition of the viability in its use is still limited. After recognizing the potentialities associated to the use of thermography, this work intends to contribute to the demonstration of the viability of its implementation as a supporting technique in the biomechanical context. In this sense, along with the support of specialists in the medical field, situations of thermography implementation were studied as a supporting tool, involving occupational biomechanics, orofacial and physical-motor rehabilitation. The work was supported by the use of a *FLIR* brand thermographic video recording equipment, as well as software to support data processing and analysis. The results obtained are present and discussed, demonstrating the importance that thermography can play as a supporting tool in the studied domains.

Keywords: Thermography; Orofacial Biomechanics; Biomechanics of Rehabilitation; Occupational Biomechanics; Clinical Evaluation.

Índice

Resumo	i
Abstract	iii
Índice	v
Índice de Figuras	vii
Índice de Tabelas.....	xi
Índice de Equações.....	xiii
Lista de Abreviaturas.....	xv
1. Introdução.....	1
2. Enquadramento Teórico	5
2.1. Temperatura	5
2.1.1. Definição de Temperatura.....	6
2.1.2. Escalas de Temperatura e Termómetros.....	5
2.1.3. Descoberta da Radiação Infravermelha.....	7
2.2. Medição da Temperatura por Radiação Infravermelha	8
2.2.1. Espectro Eletromagnético e Raios Infravermelhos.....	8
2.2.2. Radiação de um Corpo Negro.....	9
2.3. Termografia Infravermelha	12
2.3.1. Equipamentos de Medição – Câmara Termográfica.....	13
2.3.2. Fatores que Influenciam a Termografia.....	14
2.3.3. Domínios de Aplicação da Termografia.....	21
3. Revisão Bibliográfica.....	25
4. Identificação dos Mapas de Temperatura na Mão	33
4.1. A Mão.....	33
4.1.1. Vasos Sanguíneos	34
4.1.2. A Pele.....	35
4.2. Objetivos do Estudo.....	35
4.3. Metodologia Experimental e Protocolo de Aquisição de Dados.....	36
4.4. Tratamento e Análise de Dados	37
4.4.1. Imagens Termográficas - Exemplo.....	38
4.4.2. Análise Estatística	39
4.5. Conclusões	44
5. Termografia Orofacial.....	45
5.1. Dor Orofacial	45
5.2. Objetivos do Estudo.....	47
5.3. Metodologia Experimental e Protocolo de Aquisição de Dados.....	48
5.4. Tratamento e Análise de Dados	51

5.4.1. Imagens Termográficas – Exemplo para um Voluntário.....	52
5.4.2. Análise Descritiva.....	53
5.4.3. Análise Estatística	55
5.5. Conclusões	59
6. Termografia Aplicada à Reabilitação pós AVC – Caso de Estudo	61
6.1. Acidente Vascular Cerebral.....	61
6.2. Objetivos do Estudo.....	62
6.3. Metodologia Experimental e Aquisição de Dados	63
6.4. Conclusões	72
7. Conclusões Finais e Desenvolvimentos Futuros.....	73
8. Referências Bibliográficas	75
9. Apêndice	83
9.1. Consentimento Informado, Livre e Esclarecido para participação em Trabalho de investigação Aplicada	83
9.2. Questionário	84
9.3. Identificação dos Mapas de Temperatura na Mão	85
9.4. Termografia no Estudo da Dor Orofacial	88

Índice de Figuras

Figura 1: Termoscópio Florentino (https://www.qconcursos.com , 2017).....	21
Figura 2: Termómetro de gás a volume constante (Pedro, 2014)	22
Figura 3: Decomposição da luz branca (Ahmad, 2013).	23
Figura 4: Porções do espectro eletromagnético (Côrte & Hernandez, 2016).....	24
Figura 5: Absorção da radiação incidente num corpo negro (Jones B. , 2000).	25
Figura 6: Emissão de radiação de um corpo negro (Jones B. , 2000).....	25
Figura 7: Intensidade da radiação do corpo negro com o comprimento de onda (Sebem, s.d.)	27
Figura 8: Variação da intensidade da radiação com o aumento ou diminuição da temperatura (Medeiros, 2010).	28
Figura 9: (A) energia infravermelha, (B) sistema ótico, (C) detetor de infravermelhos, (D) sensor eletrónico, (E) imagem (Silva F. A., 2016)	29
Figura 10: Câmara termográfica FLIR T430sc	29
Figura 11: Identificação dos diferentes fatores que podem afetar a aplicação da termografia (Adaptado de (Cuevas, 2015).	31
Figura 12: Efeito das diferentes posições no fluxo térmico (Quesada <i>et al.</i> , 2016).	33
Figura 13: Variação da emissividade com o ângulo de observação (Holst, 2000).	34
Figura 14: Variação da emissividade para diferentes materiais: Água (1); Terra (2); Plástico (3) (Gonçalves, 2011)	35
Figura 15: Exemplo de posição da câmara termográfica em relação à ROI (Quesada <i>et al.</i> , 2016)	36
Figura 16: Layout software FLIR ResearchIR Max.	36
Figura 17: Exemplo de imagens termográficas aplicada à construção civil (Adaptado de (Gonçalves, 2011)).	37
Figura 18: Exemplo de imagens termográficas na indústria automóvel (Adaptado de (Gonçalves, 2011)).	38
Figura 19: Exemplo de imagens termográficas na indústria metalúrgica (Adaptado de (Gonçalves, 2011)).	38
Figura 20: Exemplo de imagens termográficas em instalações elétricas (Adaptado de (Gonçalves, 2011)).	38
Figura 21: Exemplo de imagens termográficas em aeronáutica (Adaptado de (Álava, 2017)).	39
Figura 22: Exemplo de imagens termográficas em contexto de vigilância e segurança (Fraga <i>et al.</i> , 2009).....	39
Figura 23: Exemplo de imagens termográficas na medicina humana (Adaptado de (Gonçalves, 2011)).	40
Figura 24: Exemplo de imagens termográficas aplicadas à medicina veterinária (Adaptado de Wikipédia, 2017).	40
Figura 25: Tenar, músculos palmares e hipotenar da mão (Kenhub, 2017).	49
Figura 26: Sistema venoso (à esquerda) (Rohen <i>et al.</i> , 2011) e sistema arterial (à direita) do membro superior (SOBOTTA, 2000).	50
Figura 27: Identificação das camadas da pele humana (Moore, 2010).....	51
Figura 28: <i>Setup</i> experimental (esquerda) e visualização de um momento de aquisição do filme termográfico de uma voluntária (direita).....	52
Figura 29: Nomenclatura atribuída ao dorso e superfície palmar	53
Figura 30: <i>Layout</i> do Software RStudio.	53
Figura 31: Exemplo de imagem termográfica do dorso (esquerda) e superfície palmar (direita).	54
Figura 32: Registo da temperatura máxima no dorso da mão direita.	55
Figura 33: Registo da temperatura mínima no dorso da mão direita.	55
Figura 34: Registo da temperatura máxima no dorso da mão esquerda.	56
Figura 35: Registo da temperatura mínima no dorso da mão esquerda.	56
Figura 36: Registo da temperatura máxima da superfície palmar da mão direita.	57
Figura 37: Registo da temperatura mínima da superfície palmar da mão direita.	57

Figura 38: Registo da temperatura máxima da superfície palmar da mão esquerda.	58
Figura 39: Registo da temperatura mínima da superfície palmar da mão esquerda.	58
Figura 40: Comparação da diferença da temperatura máxima e mínima entre dorsos.	59
Figura 41: Comparação da diferença da temperatura máxima e mínima entre superfícies palmares.	60
Figura 42: Complexo do ponto de gatilho (Hong Jin Pai & Associados, 2016).	62
Figura 43: Identificação das porções do músculo temporal (Adaptado de (3D Anatomy for the artist life)).	62
Figura 44: Identificação das porções do músculo masséter (3D Anatomy for the artist life).	63
Figura 45: <i>Setup</i> experimental.	65
Figura 46: Modelo 3D do recipiente de gelo utilizado para aplicação de gelo.	65
Figura 47: Aplicação do gelo na face direita: a) momento inicial; b) aplicação do gelo na ROI; c) momento em que foi atingida a temperatura inicial.	66
Figura 48: Aplicação do gelo na face esquerda: a) momento inicial; b) aplicação do gelo na ROI seguido do processo de mastigação da pastilha elástica; c) momento em que foi atingida a temperatura inicial.	67
Figura 49: Aplicação do gelo na face direita: a) momento inicial; b) aplicação do gelo na ROI seguido do processo de mastigação da pastilha elástica; c) momento em que foi atingida a temperatura inicial.	68
Figura 50: Aplicação do gelo na face esquerda: a) momento inicial; b) aplicação do gelo na ROI seguido do processo de mastigação da pastilha elástica; c) momento em que foi atingida a temperatura inicial.	68
Figura 51: Tempo de recuperação da temperatura máxima inicial na região em estudo para cada voluntário, com e sem a aplicação de estímulo adicional.	69
Figura 52: Tempo de recuperação da temperatura mínima inicial na região em estudo para cada voluntário, com e sem a aplicação de estímulo adicional.	69
Figura 53: Análise estatística com base na temperatura máxima. Comparação da variação de média: SE - sem aplicação de estímulo; CE - com aplicação de estímulo.	72
Figura 54: Análise estatística com base na temperatura mínima. Comparação da variação de média: SE - sem aplicação de estímulo; CE - com aplicação de estímulo.	72
Figura 55: Análise estatística com base na temperatura máxima no género masculino. Comparação da variação de média: MSE - Masculino sem estímulo; MCE - Masculino com estímulo.	74
Figura 56: Análise estatística com base na temperatura máxima no género feminino. Comparação da variação de média: FSE - Feminino sem estímulo; FCE - Feminino com estímulo.	74
Figura 57: Classificação de acidente vascular cerebral (Rafaela, 2016).	77
Figura 58: Área corporal afetada de acordo com o local do acidente vascular cerebral (https://saudavelefeliz.com/avc-e-a-idade-035/ , 2017).	78
Figura 59: Identificação das regiões de interesse na face (Multiple Sclerosis (MS) Symptoms: Trigeminal Neuralgia (Facial Pain), s.d.).	80
Figura 60: Visualização de um momento de aquisição da temperatura do ombro e cotovelo.	80
Figura 61: Visualização do momento de aquisição do filme termográfico da superfície palmar.	80
Figura 62: Visualização do momento de aquisição do filme termográfico dos membros inferiores.	81
Figura 63: Definição das ROI's da planta do pé (Gatt, et al., 2014). Visualização de um momento de recolha do filme termográfico.	81
Figura 64: Comparação da temperatura entre a face afetada (esquerda) e a face não afetada (direita) nas ROI's definidas.	82
Figura 65: Comparação da temperatura entre o ombro afetado (esquerda) e o ombro não afetado (direita) nas ROI's definidas.	82
Figura 66: Comparação da temperatura entre as superfícies palmares (esquerda) e os dorsos (direita) nas ROI's definidas.	82
Figura 67: Comparação da temperatura entre o membro inferior afetado (esquerda) e não afetado (direita) nas ROI's definidas.	83
Figura 68: Comparação da temperatura entre o pé afetado (esquerda) e não afetado (direita) nas ROI's definidas.	83
Figura 69: Variação da temperatura máxima nas regiões de interesse da face.	84

Figura 70: Variação da temperatura mínima nas regiões de interesse da face.	84
Figura 71: Variação da temperatura máxima nas regiões de interesse do braço.	84
Figura 72: Variação da temperatura mínima nas regiões de interesse do braço.	85
Figura 73: Variação da temperatura máxima nas regiões de interesse da mão.	85
Figura 74: Variação da temperatura mínima nas regiões de interesse da mão.	86
Figura 75: Variação da temperatura máxima nas regiões de interesse da perna.	86
Figura 76: Variação da temperatura mínima nas regiões de interesse da perna.	87
Figura 77: Variação da temperatura máxima nas regiões de interesse do pé.	87
Figura 78: Variação da temperatura mínima nas regiões de interesse do pé.	88

Índice de Tabelas

Tabela 1: Principais características do equipamento <i>FLIR T430sc</i> (FLIR, 2016).....	30
Tabela 2: Emissividade de acordo com o material (Barreira, 2004).....	33
Tabela 3: Parâmetros do equipamento com influência na termografia (Martins, 2012).	35
Tabela 4: Percentagem de variação da temperatura máxima e mínima.....	70
Tabela 5: Média, desvio padrão e p^{valor} da análise global.....	71
Tabela 6: Média, desvio padrão e p^{valor} da análise por género masculino.	73
Tabela 7: Média, desvio padrão e p^{valor} da análise por género feminino.	74

Índice de Equações

Equação (1): Lei de Stephan-Boltzmann.....	10
Equação (2): Lei de Planck.....	10
Equação (3): Lei de Wien.....	11
Equação (4): Relação entre comprimento de onda e frequência.....	11
Equação (5): Nomenclatura atribuída ao dorso e superfície palmar.....	37
Equação (6): Teste de hipótese de médias – Hipótese nula.....	43
Equação (7): Teste de hipótese de médias – Hipótese alternativa.....	43
Equação (8): Teste de hipótese de médias – Hipótese nula.....	55
Equação (9): Teste de hipótese de médias – Hipótese alternativa.....	55
Equação (10): Teste de hipótese de medianas – Hipótese nula.....	57
Equação (11): Teste de hipótese de medianas – Hipótese alternativa.....	57

Lista de Abreviaturas

- ATM – Articulação Temporomandibular;
- AVC – Acidente Vascular Cerebral;
- B – Constante de Radiação;
- c – Velocidade da Luz;
- CCCM – Complexo Crâneo Cérvico Mandibular;
- CE – Com Estímulo (Temperatura Máxima);
- ce – Com Estímulo (Temperatura Mínima);
- DAD – Dorso Anelar Direito;
- DAE – Dorso Anelar Esquerdo;
- DIE – Dorso Indicador Esquerdo;
- DMD – Dorso Médio Direito;
- DmD – Dorso Mindinho Direito;
- DME – Dorso Médio Esquerdo;
- DmE – Dorso Mindinho Esquerdo;
- DPD – Dorso Polegar Direito;
- DPE – Dorso Polegar Esquerdo;
- DTM – Disfunções Temporomandibulares;
- ϵ - Emissividade;
- f – Frequência;
- FCE – Com Estímulo para Género Feminino (Temperatura Máxima);
- fce – Com Estímulo para Género Feminino (Temperatura Mínima);
- FSE – Sem Estímulo para Género Feminino (Temperatura Máxima);
- fse – Sem Estímulo para Género Feminino (Temperatura Mínima);
- h – Constante de Planck;
- K – Constante de Boltzmann;
- MCE – Com Estímulo para Género Masculino (Temperatura Máxima);
- mce – Com Estímulo para Género Masculino (Temperatura Mínima);
- mce – Mediana com Estímulo
- mse – Mediana sem Estímulo;

MSE – Sem Estímulo para Género Masculino (Temperatura Máxima);

mse – Sem Estímulo para Género Masculino (Temperatura Mínima);

PAD – Palma Anelar Direito;

PAE – Palma Anelar Esquerdo;

PHD – Palma Hipotenar Direito;

PHE – Palma Hipotenar Esquerdo;

PID – Palma Indicador Direito;

PIE – Palma Indicador Esquerdo;

PLA – Ácido Polilático;

PMD – Palma Médio Direito;

PmD – Palma Mindinho Direito;

PME – Palma Médio Esquerdo;

PmE – Palma Mindinho Esquerdo;

PMPD – Palma Músculo Palmar Direito;

PMPE – Palma Músculo Palmar Esquerdo;

PPD – Palma Polegar Direito;

PPE – Palma Polegar Esquerdo;

PTD – Palma Tenar Direito;

PTE – Palma Tenar Esquerdo;

q – Fluxo Térmico;

ROI – Região de Interesse;

SE – Sem Estímulo (Temperatura Máxima);

se – Sem Estímulo (Temperatura Mínima);

SPSS – Statistical Package for the Social Sciences;

T – Temperatura;

w - Emitância Espectral;

λ - Comprimento de Onda;

μ_{ce} – Média com Estímulo;

μ_{se} – Média sem Estímulo.

1. Introdução

O ser humano é considerado homeotérmico, isto é, possui a capacidade de manter a temperatura corporal dentro de um certo intervalo pré-determinado, independentemente das variações térmicas que ocorram ao nível do meio ambiente. A variação térmica no corpo humano pode ser considerada natural e, geralmente, não excede alterações superiores a 0.6°C (Magalhães *et al.* 2002). Contudo, uma variação térmica corporal superior a este valor é considerada anormal, podendo ser usada como indicador de doença. Segundo a teoria de Hipócrates (Ring E. F., 2007):

“Should one part of the body be hotter or colder than the rest, then disease is present in that part”

Tendo como base esta teoria, e na sequência da descoberta da radiação infravermelha, foram desenvolvidos os primeiros dispositivos capazes de capturar informações da temperatura. Este tipo de dispositivo, habitualmente designado por câmara termográfica, foi inicialmente utilizado para fins militares, tendo vindo a revolucionar os métodos habituais de medição de temperatura, originando a termografia médica infravermelha.

A sua eficiência e segurança tornaram a termografia uma ferramenta útil, permitindo detetar e localizar a distribuição da radiação térmica emitida pela superfície da pele, órgão importante na regulação da temperatura corporal (Merla *et al.* 2009). Caracterizada como uma tecnologia não invasiva e não radioativa, permitindo avaliar a fisiologia em tempo real, a termografia deteta a luz infravermelha emitida pelo corpo, sem contacto direto, e identifica alterações na temperatura corporal inerentes a alterações do fluxo sanguíneo. Assim, com o avanço da tecnologia, as câmaras termográficas têm vindo a tornar-se num instrumento de medição viável no diagnóstico precoce e complementar de determinadas patologias, sendo muito usado na medição da temperatura corporal.

Apesar da sua implementação em diferentes domínios do conhecimento, onde se inclui a componente médica, como por exemplo na medição da temperatura corporal através de termómetro de infravermelhos (medição num ponto), o reconhecimento da sua aplicabilidade em alguns domínios da biomecânica é ainda escasso. De facto, apesar da evolução desta tecnologia, identificam-se ainda poucas publicações envolvendo a utilização da termografia em contexto da biomecânica, reconhecendo-se a necessidade de estudar a sua aplicabilidade neste domínio. Reconhecendo esta importância, o presente trabalho pretende ser uma contribuição para o uso da termografia como metodologia de avaliação, envolvendo a medição e avaliação de mapas de temperatura da pele.

A dissertação que se apresenta envolve a aplicação da termografia em contexto da biomecânica, tendo sido definidos três exemplos de estudo:

- O primeiro estudo realizado envolveu a aplicação da termografia no contexto da biomecânica ocupacional. Tendo por base a existência de pouca informação relativa aos mapas térmicos da mão, foi implementada uma metodologia para caracterizar os mapas térmicos tanto do dorso como da superfície palmar da mão num grupo de voluntários;
- O segundo estudo foi direcionado para a biomecânica orofacial. Neste exemplo, a metodologia implementada permitiu identificar oscilações nos mapas de temperatura na superfície da pele nas duas hemifaces envolventes da zona do músculo masséter antes, durante e após a aplicação de diferentes estímulos baseados em terapia do gelo. Este estudo envolve um grupo de voluntários jovens;
- O terceiro estudo foi direcionado para a reabilitação físico-motora, com a aplicação da termografia na avaliação dos mapas de temperatura em várias regiões da pele de uma paciente voluntária, em processo de recuperação de acidente vascular cerebral. O estudo compara os mapas térmicos em três etapas da recuperação da paciente.

A implementação da técnica de termografia nos três estudos envolveu a recolha de filme termográfico, com recurso a um equipamento da marca *FLIR*, modelo T430sc. O processamento do filme termográfico foi feito através do software *ResearchIR Max*, também da marca *FLIR*. A análise estatística aos dados foi implementada com recurso ao software *RStudio*.

Tendo em conta que a dissertação envolve a utilização da termografia, foi necessário proceder a um estudo aprofundado desta tecnologia. Assim, após a introdução deste trabalho, onde é feito um enquadramento ao tema bem como aos principais objetivos, apresenta-se no capítulo 2 um enquadramento teórico de suporte à tecnologia usada, onde é descrito o seu princípio de funcionamento, assim como os principais fatores que influenciam a tecnologia e os diversos domínios da sua aplicação.

Outro aspeto relevante no trabalho desenvolvido passou pela identificação de trabalhos que envolvem a aplicação da termografia. Assim, no capítulo 3 é apresentada uma revisão bibliográfica de trabalhos com aplicação desta tecnologia, que foi direcionada para publicações no âmbito dos exemplos de estudo.

Tendo em conta que os exemplos desenvolvidos envolvem áreas distintas, optou-se por descrever cada um dos estudos em capítulos separados ao longo da tese. Assim, é apresentado no capítulo 4 um estudo direcionado para a utilização da termografia, com o intuito de identificar mapas de temperatura na mão, tanto no dorso como na superfície palmar. É feito um enquadramento à biomecânica da mão, sendo posteriormente descrita a metodologia

experimental usada neste estudo. Por fim, são apresentados e discutidos os resultados obtidos e as conclusões que se podem retirar.

O capítulo 5 descreve o exemplo implementado para a aplicação da termografia em biomecânica orofacial. Tendo em conta o envolvimento do estudo, é feito o enquadramento à dor orofacial, onde habitualmente é aplicada a terapia do gelo. Posteriormente, é descrita toda a metodologia experimental, os resultados obtidos e a sua discussão, assim como as conclusões a registar.

O capítulo 6 descreve um caso de estudo de aplicação da termografia em contexto de reabilitação físico-motora numa paciente em processo de recuperação pós-AVC. Após o necessário enquadramento do acidente vascular cerebral, é descrita a metodologia experimental implementada no estudo efetuado. Posteriormente apresentam-se os resultados obtidos, que são discutidos, sendo apresentadas as conclusões que se podem retirar do estudo.

Por fim apresentam-se no capítulo 7 as principais conclusões que se retiram desta dissertação de tese, assim como os desenvolvimentos futuros.

2. Enquadramento Teórico

O trabalho que se apresenta tem por base a utilização de termografia como ferramenta de apoio. Entendeu-se como importante proceder ao enquadramento dos principais conceitos e princípios de suporte a esta tecnologia. Assim, o presente capítulo aborda alguns aspetos considerados relevantes para a compreensão dos princípios associados à termografia.

2.1. Temperatura

2.1.1. Definição de Temperatura

“A temperatura de um objeto pode ser descrita qualitativamente como algo que determina a sensação ao tato de calor ou frio. Quando dois ou mais objetos, a diferentes temperaturas, estão em contacto e ocorrem trocas de calor entre si até ser atingido um equilíbrio térmico, durante o qual o valor da temperatura é idêntico entre os corpos”. Por exemplo, quando um termómetro calibrado é colocado em contacto térmico com um sistema, este atinge o equilíbrio térmico, sendo possível obter uma medição quantitativa da temperatura do sistema (Barreira, 2004).

2.1.2. Escalas de Temperatura e Termómetros

No século XVII, Galileu inventou o primeiro dispositivo para medição da temperatura, que designou por termoscópio, e que pode ser visualizado na Figura 1. Constituído por uma esfera oca de vidro conectada a um tubo também ele de vidro, este instrumento permitia avaliar qualitativamente o aumento ou diminuição da temperatura através do deslocamento da substância colorida no interior do tubo capilar. Contudo, o termoscópio não possuía uma escala graduada sendo que, a medição da temperatura era obtida pela variação do nível do líquido (Barreira, 2004).

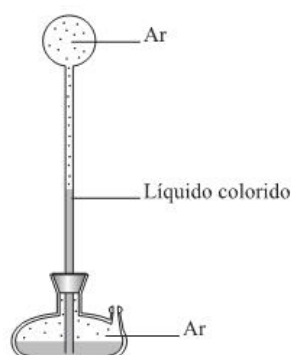


Figura 1: Termoscópio Florentino (<https://www.qconcursos.com>, 2017).

Em 1641 surge o primeiro termómetro, desenvolvido por Ferfinand II (Barreira, 2004). Neste termómetro o ar foi substituído por um líquido como meio termométrico. Nele era colocado álcool, com 50 divisões marcadas no tubo, embora não conferisse um ponto fixo que identificasse o zero da escala (Barreira, 2004). Mais tarde, em 1664, Robert Hook introduziu um pigmento vermelho no álcool e definiu uma escala padrão onde cada divisão representava um incremento de volume equivalente a cerca de 1/500 do volume de líquido do termómetro e o ponto fixo correspondia ao ponto de congelação da água (Bento, 2011).

Pela primeira vez, em 1715 Gabriel Fahrenheit utilizou mercúrio como meio termométrico (Barreira, 2004). Para a sua calibração, considerou como zero a posição obtida após ter embebido o termómetro dentro de uma mistura de cloreto de sódio, gelo e água. Como resultado, obteve três pontos na escala sendo que, o segundo ponto da escala correspondia à posição 30 e à mistura de gelo e água, e um terceiro ponto à posição 96, quando colocado o termómetro na boca de um homem saudável. Designaram-se assim por graus Fahrenheit as temperaturas medidas nesta escala (Bento, 2011).

Descoberto pelo físico francês J. A. C. Charles, em 1780 surgiu o termómetro de gás a volume constante conforme visualização da Figura 2. Este instrumento utiliza um gás como meio termométrico e a sua pressão varia linearmente com a temperatura (Bento, 2011).

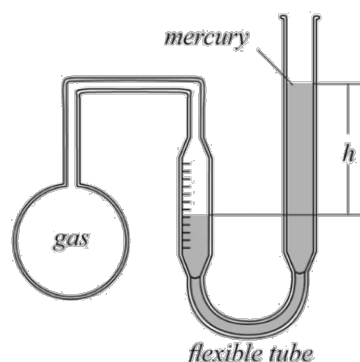


Figura 2: Termómetro de gás a volume constante (Pedro, 2014) .

Posteriormente, Lord William Thompson Kelvin deu o seu contributo com o desenvolvimento da escala Kelvin, com o símbolo K (Barreira, 2004).

As primeiras publicações das observações e respetivas variações da temperatura corporal surgiram nos anos de 1754. Todavia, apenas teve início em 1800 a tecnologia aplicada à termografia com a descoberta da radiação infravermelha (Silva F. A., 2016).

2.1.3. Descoberta da Radiação Infravermelha

A radiação infravermelha foi descoberta em 1800 por Frederick William Herschel enquanto observava a quantidade de calor que passava através dos diversos filtros de cor que permitiam observar a luz solar (Silva F. A., 2016). Assim, deduziu que se os filtros trespassavam diferentes quantidades de calor em função da cor, cada cor teria associada uma temperatura diferente. Para comprovar o fenómeno de que a diferentes cores que compõem a luz branca estavam associados diferentes níveis de calor, Herschel desenvolveu um sistema em que a luz solar passasse através de um prisma de vidro (Figura 3), projetando num alvo um espectro contínuo de radiações cujo comprimento de onda estivesse compreendido entre o vermelho e o violeta (Silva F. A., 2016).



Figura 3: Decomposição da luz branca (Ahmad, 2013).

Ao medir a temperatura em cada cor projetada no alvo, o investigador verificou que a temperatura aumentava desde o violeta até ao vermelho e que a temperatura medida no alvo imediatamente a seguir à cor vermelha do espectro era ainda mais elevada. Assim, Herschel concluiu que as radiações que se situavam para além da luz vermelha, invisíveis ao olho humano, seriam responsáveis pelo aquecimento dos objetos, sendo designadas por raios infravermelhos (Silva F. A., 2016).

Entre as décadas de 30 e 60 surgiram diversos detetores de infravermelhos essencialmente para fins militares e todos eles tinham como princípio de funcionamento sistemas ótico-mecânicos de varrimento com necessidade de refrigeração criogénica. No final da década de 60 surgem as primeiras câmaras de infravermelhos comerciais e somente na década de 90 foram desenvolvidos equipamentos que permitiam a leitura da temperatura em diversos pontos em simultâneo (Barreira, 2004).

2.2. Medição da Temperatura por Radiação Infravermelha

2.2.1. Espectro Eletromagnético e Raios Infravermelhos

Todos os corpos emitem e absorvem radiações eletromagnéticas resultantes da agitação interna da matéria. Por sua vez, as radiações eletromagnéticas são uma forma de energia que se propaga através do espaço como perturbações vibratórias elétricas e magnéticas, na direção perpendicular a essas perturbações. Sabe-se que o espectro eletromagnético abrange uma vasta gama de comprimentos de onda e é estruturado de acordo com a energia, de maiores para menores comprimentos de onda e de menores para maiores frequências em: ondas rádio, micro-ondas, infravermelhos, luz visível, ultravioleta, raios X e raios gama (Vardasca *et al.* 2016). A Figura 4 mostra as várias porções do espectro eletromagnético com caracterização dos respetivos métodos de imagem médica.

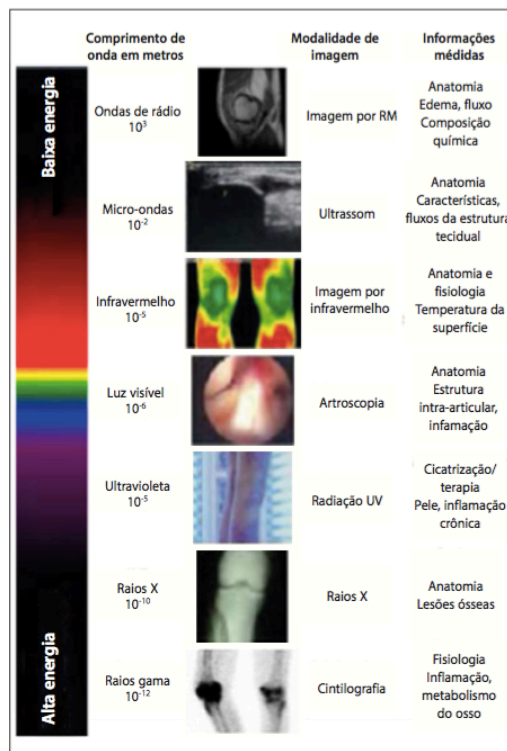


Figura 4: Porções do espectro eletromagnético (Côrte & Hernandez, 2016).

O olho humano apenas é sensível à região “visível”. Por outro lado, todos os corpos com temperaturas superiores ao zero absoluto emitem energia na região do infravermelho. Esta região é compreendida por uma gama de valores entre $0.75 \mu\text{m}$ e $1000 \mu\text{m}$, subdividida em infravermelhos próximos, médios e extremos. (Barreira, 2004)

2.2.2. Radiação de um Corpo Negro

Um corpo, com temperatura diferente de zero, emite radiação térmica. Toda a matéria com temperatura superior a zero emite radiação, provocada por oscilações ou transições de átomos, iões ou moléculas mantidas pela energia interna. Um dos conceitos importantes no contexto da radiação é o de “corpo negro”, definido como um corpo que absorve toda a radiação que nele incide independentemente do comprimento de onda e da direção da radiação (Martins, 2012). Uma forma clássica de idealizar um corpo negro passa por considerar uma cavidade negra apenas com um estreito orifício de entrada (Guerra, 2013). A radiação que entra na cavidade é absorvida através de interações sucessivas com a parede interna (Figura 5).

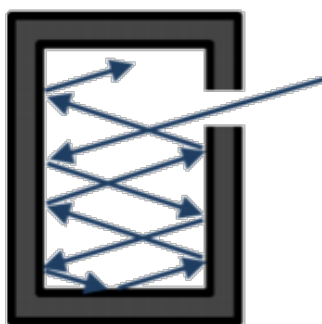


Figura 5: Absorção da radiação incidente num corpo negro (Jones B. , 2000).

O corpo negro também emite radiação de forma a estar em equilíbrio térmico com o ambiente, isto é, o corpo negro emite uma quantidade de energia igual à que recebe (Guerra, 2013), tal como se pode verificar na Figura 6. Esta interpretação permite introduzir as leis da radiação, nomeadamente de Stephan – Boltzmann, de Planck e de deslocamento de Wien, que pela sua importância, se descrevem de seguida.

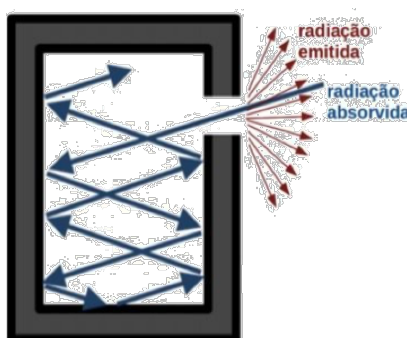


Figura 6: Emissão de radiação de um corpo negro (Jones B. , 2000).

Lei de Stephan-Boltzmann

A Física determinou que a potência emitida por um corpo negro em equilíbrio térmico depende, essencialmente, de dois parâmetros (Guerra, 2013): Temperatura absoluta e superfície.

A lei que materializa esta dependência é designada por Lei de *Stephan-Boltzmann*. Em 1884, Boltzmann estabeleceu que a quantidade de calor (por unidade de tempo e por unidade de área) emitida por um corpo é proporcional à quarta potência da sua temperatura absoluta (Cruz, 2012), sendo dada por

$$q_r^n = \sigma \times T^4 \quad (1)$$

onde q_r^n corresponde ao fluxo de calor transferido, por unidade de área (W/m^2), σ é a constante de Stephan-Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} W/(m^2 K^4)$) e T a temperatura em Kelvin (Silva R. N., 2007).

Lei de Planck

A Lei de Planck, para a radiação do corpo negro, exprime a distribuição espectral em função do comprimento de onda e da temperatura do corpo negro (Oliveira, 2012) e pode escrita pela equação (2):

onde

$$W(\lambda, T) = \left(\frac{2\pi h c^2}{\lambda^5 \left(e^{\frac{hc}{kT\lambda}} - 1 \right)} \right) \times 10^{-6} \quad (2)$$

$W(\lambda, T)$ corresponde à emitância espectral do corpo radiante no comprimento de onda λ ($W/m^2, \mu m$), h corresponde à constante de Planck ($6,626 \times 10^{-34}$ J.s), λ o comprimento de onda (m), T representa a temperatura do corpo negro (K), K a constante de Boltzmann ($1,381 \times 10^{-23}$ J/K), c corresponde à velocidade da luz ($\approx 3 \times 10^8$ m/s) (Oliveira, 2012).

A Figura 7 descreve a variação da intensidade da radiação de um corpo negro ao longo dos diferentes comprimentos de onda.

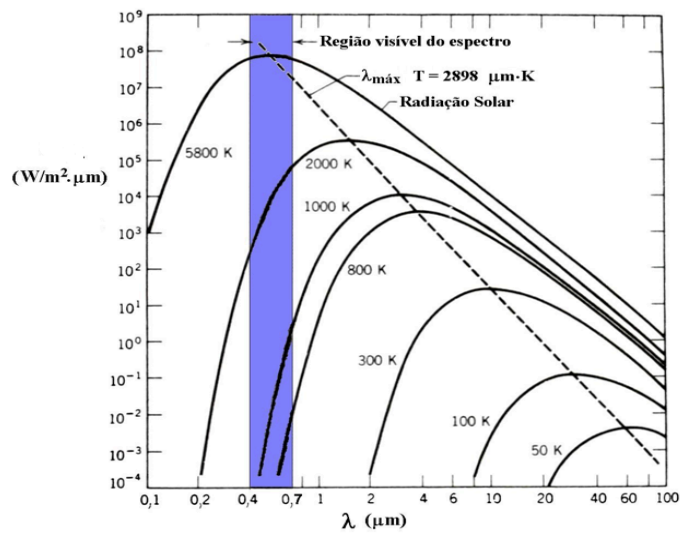


Figura 7: Intensidade da radiação do corpo negro com o comprimento de onda (Sebem, s.d.).

Lei de Wien

A Lei de Wien, também designada por Lei de deslocamento de Wien, relaciona o comprimento de onda onde se situa a máxima emissão de radiação com a temperatura (Oliveira, 2012). Wien, físico austríaco, obteve a relação entre a temperatura absoluta do corpo e o comprimento de onda correspondente à emissão máxima (Gonçalves, 2011). Trata-se de uma relação de proporcionalidade inversa entre o comprimento de onda e a temperatura do corpo, dada pela equação (3).

$$\lambda_{max} = \frac{B}{T} \quad (3)$$

sendo B a constante de radiação cujo valor é 2898 $\mu\text{m}\cdot\text{K}$, T a temperatura em K e λ o comprimento de onda (Medeiros, 2010).

Note-se que, uma onda eletromagnética é caracterizada pela sua frequência, f , e pelo seu comprimento de onda, λ . A frequência consiste no número de vezes que se repete um fenómeno, por unidade de tempo. O comprimento de onda, corresponde à distância entre dois pontos (Marques, 2016). Assim, relaciona-se o comprimento de onda com frequência da seguinte forma.

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (4)$$

onde c representa a velocidade da luz (≈ 300000 km/s), f a frequência e λ o comprimento de onda.

Quanto maior for a temperatura do corpo, maior a agitação das partículas constituintes, aumentando as amplitudes das suas oscilações, bem como as frequências das mesmas (Figura 8). Se a temperatura diminuir, diminui a agitação das partículas constituintes, diminuindo tanto as amplitudes como as frequências das oscilações (Medeiros, 2010).

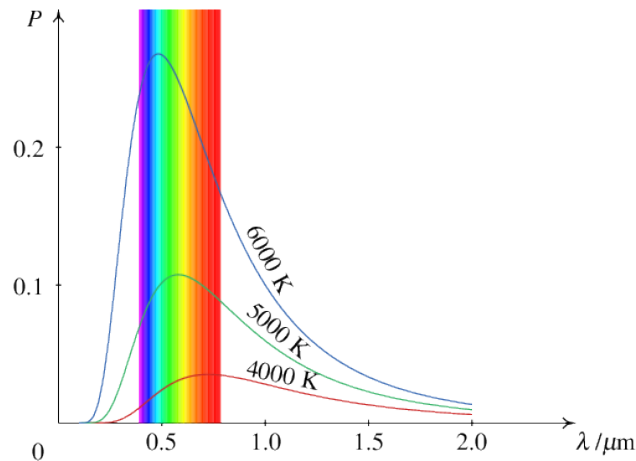


Figura 8: Variação da intensidade da radiação com o aumento ou diminuição da temperatura (Medeiros, 2010).

2.3. Termografia Infravermelha

A termografia infravermelha é um instrumento de análise não invasiva e não radioativa capaz de analisar a temperatura de um corpo em tempo real, através da deteção de radiação infravermelha emitida naturalmente (Côrte *et al.* 2016). Como metodologia de carácter preventivo, esta tecnologia permite diagnosticar alterações da temperatura corporal (Carvalho, 2014).

No caso particular do corpo humano, este liberta constantemente diferentes níveis de energia no comprimento de onda infravermelho, e esta informação pode ser expressa e medida sob forma de calor. No corpo humano, a pele é um determinante órgão com função de regulação da temperatura corporal (Merla *et al.* 2008). A termografia deteta a luz infravermelha emitida pelo corpo e visualiza mudanças na temperatura corporal relacionadas à alteração no fluxo sanguíneo.

2.3.1. Equipamentos de Medição – Câmara Termográfica

As câmaras de infravermelho são dispositivos que transformam de forma sistemática as imagens na faixa de radiações infravermelhas do espectro eletromagnético na faixa visível do espectro (Silva F. A., 2016). Como base de funcionamento, a energia irradiada por um objeto é adquirida por um detetor de infravermelhos através de um sistema ótico que, por sua vez, envia os dados a um sensor eletrónico que processa a imagem. A Figura 9 ilustra o processo de aquisição da imagem termográfica através de uma câmara.

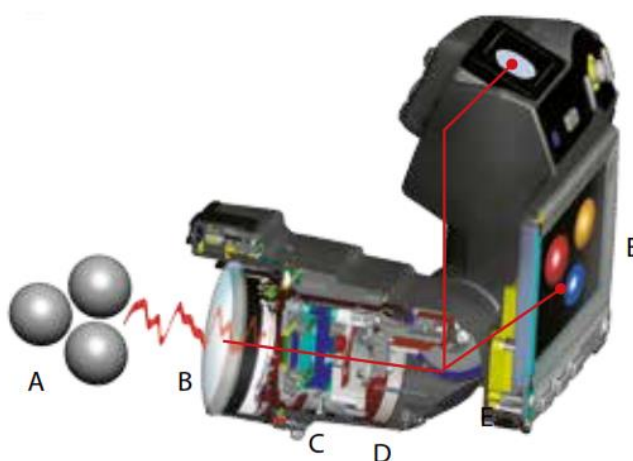


Figura 9: (A) energia infravermelha), (B) sistema ótico, (C) detetor de infravermelhos, (D) sensor eletrónico, (E) imagem (Silva F. A., 2016) .

Equipamento *FLIR T430sc*

O equipamento de suporte a esta dissertação foi uma câmara termográfica da marca *FLIR*, modelo T430sc, apresentada na Figura 10.



Figura 10: Câmara termográfica *FLIR T430sc*.

A câmara termográfica, modelo T430sc, fabricada pela empresa *FLIR Systems*, tem as principais características que se enumeram na Tabela 1. Tal como se pode observar das características deste equipamento, a presença do microbolômetro *Uncooled* permite obter imagens térmicas com maior detalhe. O tipo de detetor fornece assim imagens com elevada precisão e resolução. Dadas as funcionalidades do equipamento T430sc, é possível a realização de *streaming* vídeo dinâmico para um computador através de USB.

Para além das características mencionadas, a câmara termográfica contém recursos como rotação de auto-imagem e auto-foco, aprimorando assim a imagem térmica.

Tabela 1: Principais características do equipamento *FLIR T430sc* (FLIR, 2016).

Caraterísticas da Câmara Termográfica <i>FLIR T430sc</i>	
Tipo detetor	Microbolômetro Uncooled
Faixa Espetral	7,5 μm – 13,0 μm
Resolução	320 * 240
Detetor Afastamento	25 μm
Sensibilidade Térmica	< 30 mK
Tempo Constante	<12 ms
Taxa de Quadros	60 Hz
Digitalização	14 Bits

O equipamento permite o ajuste da taxa de aquisição até um máximo de 60 Hz. Neste trabalho, a taxa de aquisição foi ajustada para 7.5 Hz, valor considerado suficiente para as aplicações efetuadas.

2.3.2. Fatores que Influenciam a Termografia

A utilização da termografia em contexto de avaliação biomecânica no corpo humano requer a atenção a diversos fatores que podem afetar a credibilidade dos resultados inerentes à sua aplicação. Segundo Cuevas (2015), estes fatores podem ser classificados em três grupos: ambientais, que se relacionam com as condições do local de avaliação; humanos, que têm em conta as caraterísticas biológicas da pessoa a avaliar; técnicos, nomeadamente os aspectos técnicos e ajustes do equipamento (Figura 11).

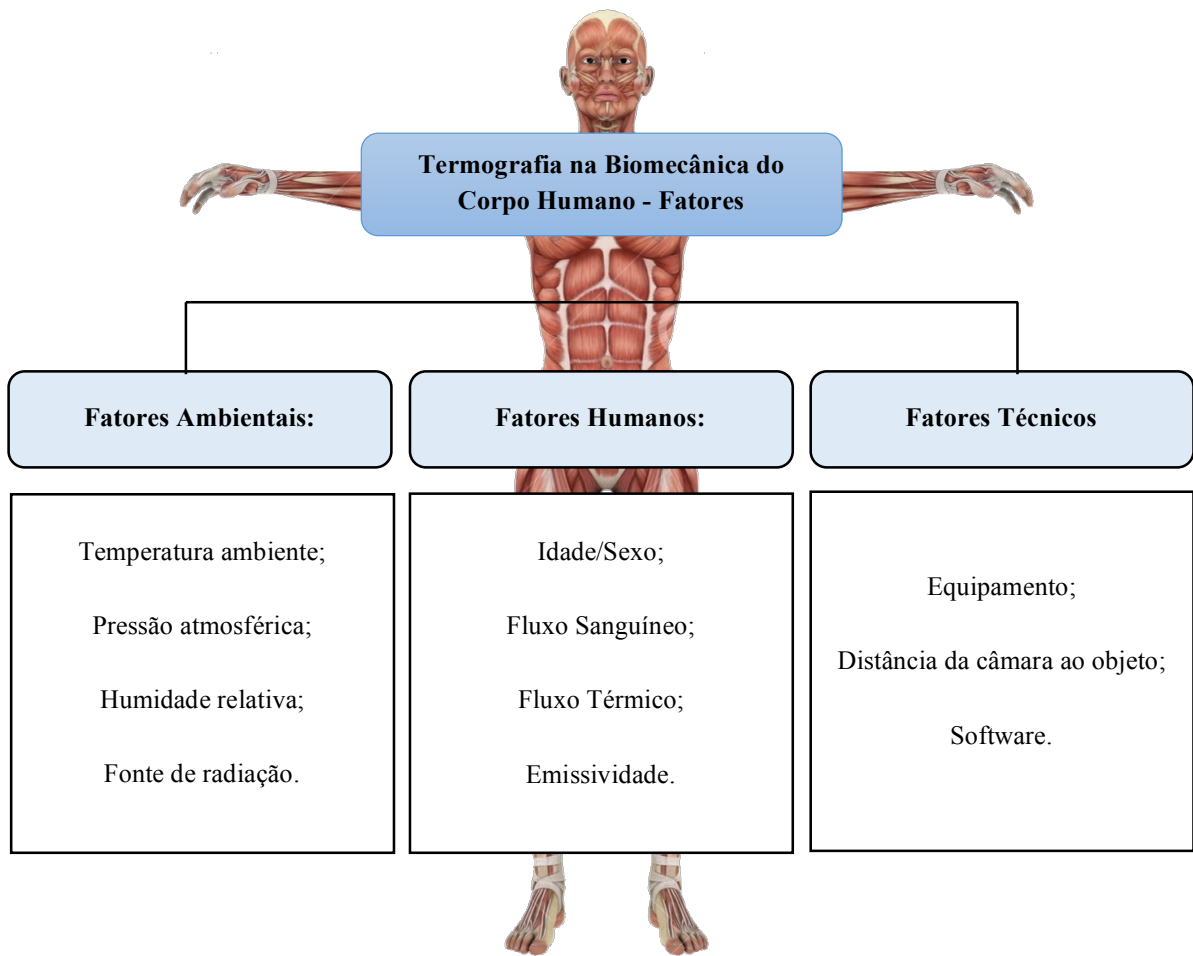


Figura 11: Identificação dos diferentes fatores que podem afetar a aplicação da termografia (Adaptado de (Cuevas, 2015).

Pela importância que envolvem na obtenção de dados com rigor, alguns destes fatores são agora descritos em pormenor.

Temperatura Ambiente

A temperatura ambiente afeta, essencialmente, a estabilidade dos equipamentos durante a captação da radiação infravermelha tendo em conta que, a temperaturas muito baixas ou muito altas, os sistemas de deteção da radiação infravermelha tendem a tornar-se instáveis (Barreira, 2004). A bibliografia sugere a gama da temperatura entre os 18°C e os 25°C, com variações inferiores a 1°C, tendo em conta que o corpo humano tem tendência a tremer e sofrer de vasoconstrição quando exposto a temperaturas mais baixas e a suar quando sujeito a temperaturas mais altas (Vardasca & Gabriel, 2016). De acordo com alguns autores (Ring & Ammer, 2000), a temperatura ambiente recomendada para a realização de testes varia entre 22°C e 24°C uma vez que, os valores de emissão de infravermelhos da pele são mais evidenciados a essa temperatura.

Humidade Relativa

A humidade relativa do meio envolvente pode ter influência na aquisição de imagens térmicas através de câmaras termográficas. A evaporação superficial é suscetível a variações climáticas e, por outro lado, o vapor de água presente no meio ambiente pode absorver diversos comprimentos de onda e grande parte da radiação. De acordo com a literatura, em medições a curta distância, um valor de 50% para a humidade relativa será o indicado (Vardasca & Gabriel, 2016).

Pressão Atmosférica

Segundo (Cuevas, 2015), a pressão atmosférica está relacionada com a temperatura ambiente e a humidade relativa. No entanto, este fator requer uma investigação mais aprofundada sobre a gama de valores a utilizar em aplicações da termografia em seres humanos.

Fontes de Radiação

Embora a radiação solar não impeça a realização de testes termográficos pode interferir na qualidade e análise dos resultados obtidos e está associada ao aumento da temperatura do objeto em função da radiação absorvida. Fontes de calor provenientes do exterior, nomeadamente o sol, podem afetar a distribuição da temperatura na superfície. No interior, devem ser tidas em conta as correntes de ar que incidem diretamente sobre a região a ser medida bem como lâmpadas, fontes de aquecimento e arrefecimento (Barreira, 2004).

Fluxo Térmico

Em avaliações do corpo humano, o fluxo térmico é um parâmetro importante que também deve ser tido em conta. Define-se fluxo térmico como a troca de energia (calor) de uma região mais quente para outra mais fria com finalidade de atingir o equilíbrio entre as duas regiões (Vardasca R. , 2016). A posição do corpo humano interfere com as trocas de calor com o ambiente. Na posição ortostática, o fluxo de calor é maior na zona da cabeça, enquanto que na posição de sentado será mais relevante na região dos joelhos, membros superiores e cabeça. Por último, a posição de deitado aparenta uma perda uniforme ao longo do corpo (Vardasca R. , 2016). A Figura 12 ilustra a variação do fluxo térmico do corpo humano nas diferentes posições.



Figura 12: Efeito das diferentes posições no fluxo térmico (Quesada *et al.*, 2016).

Emissividade

A característica que expressa a capacidade de um objeto emitir a radiação em relação a uma superfície ideal, na mesma temperatura e no mesmo comprimento de onda, é designada por emissividade, ε (Oliveira, 2012). A emissividade pode assumir valores compreendidos no intervalo $0 \leq \varepsilon \leq 1$, sendo um parâmetro ajustável e com relevância nos resultados que se obtêm através da termografia de infravermelhos (Silva F. A., 2016). Depende de alguns fatores, tais como a orientação da câmara, as condições da superfície de medição, a temperatura, o comprimento de onda e o tipo de material (Ahmad, 2013).

De acordo com a literatura (Keenan *et al.*, 2017), a emissividade correspondente à pele humana toma o valor de 0.98, valor considerado neste trabalho. A Tabela 2 apresenta alguns exemplos de valores de emissividade de acordo com os diferentes materiais.

Tabela 2: Emissividade de acordo com o material (Barreira, 2004).

Material	Temperatura	Emissividade
Aço Oxidado	25 - 100	0.79 – 0.80
Aço não Oxidado	100	0.07 – 0.08
Alumínio	0 - 100	0.03 – 0.06
Água	0 - 100	0.93 – 0.98
Papel Branco	20	0.70 – 0.95
Pele Humana	32	0.98

Varição da Emissividade com o Ângulo de Observação

Da variação da emissividade com o ângulo de observação (Figura 13), podem resultar valores não reais, essencialmente em superfícies não planas, conduzindo a valores de emissividade aparente (Silva F. A., 2016). Ângulos superiores a 50° contribuem para o decréscimo da emissividade. Assim, para medições exatas, o ângulo de observação deve ser inferior a 30° (Oliveira, 2012).

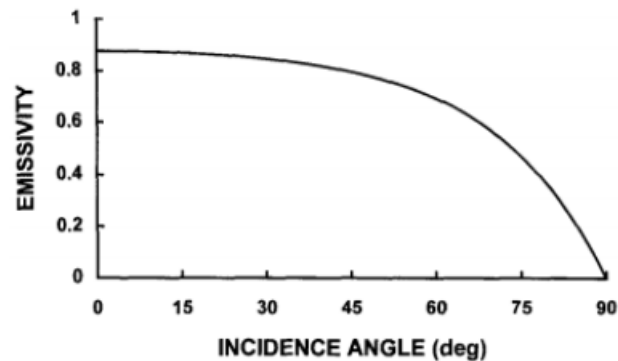


Figura 13: Variação da emissividade com o ângulo de observação (Holst, 2000).

Varição da Emissividade com a Temperatura

A emissividade pode ser considerada constante para materiais cujo o seu comportamento se aproxima do corpo cinzento (Barreira, 2004). No entanto, em alguns materiais a temperatura provoca modificações na emissividade. Por exemplo, em metais, o aumento da temperatura promove o aumento da emissividade. Contrariamente aos metais, os não metais geram emissividades menores. (Silva F. A., 2016)

Varição da Emissividade com o Comprimento de Onda

A variação da emissividade em função do comprimento de onda depende do tipo de material (Figura 14). No caso de sólidos, a emissividade varia lentamente com o comprimento de onda. Nos líquidos, tende a variar bruscamente enquanto que em sólidos, aumenta de acordo com o aumento do comprimento de onda (Silva F. A., 2016).

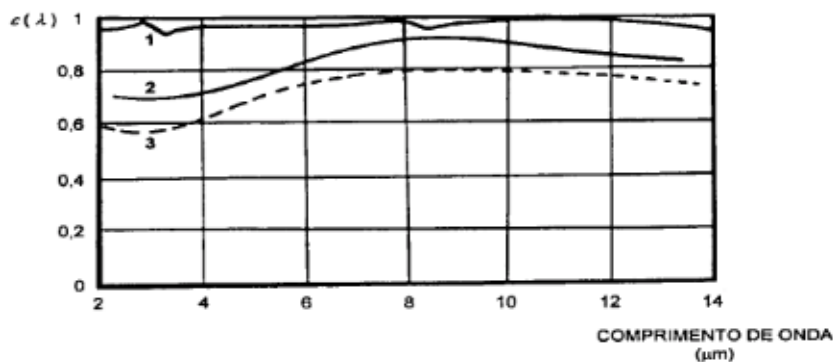


Figura 14: Variação da emissividade para diferentes materiais: Água (1); Terra (2); Plástico (3) (Gonçalves, 2011)

Equipamento

O equipamento, sendo um fator técnico com influência na aplicação da termografia infravermelha requer especial atenção em alguns parâmetros, tais como os apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Parâmetros do equipamento com influência na termografia (Martins, 2012).

Parâmetro	Característica
Sensibilidade Térmica	Medida em °C e designada por <i>NETD</i> , representa o ruído equivalente à menor temperatura detetável. Quanto menor for <i>NETD</i> mais facilmente é detetado o contraste térmico.
Precisão	Corresponde à medida em que a temperatura obtida é exata. A maioria das câmaras alcançam a precisão de $\pm 2^\circ\text{C}$ ou $\pm 2\%$.
Sensibilidade térmica	Medida em °C e designada por <i>NETD</i> , representa o ruído equivalente à menor temperatura detetável. Quanto menor for <i>NETD</i> mais facilmente é detetado o contraste térmico
Resolução espacial	Obtém-se pelo número de pixel. Quanto maior a resolução espacial, melhor será a qualidade da imagem térmica.
Resolução ótica	A cada pixel está associada uma área específica da superfície variável em função da distância entre o equipamento e o objeto em análise.

Distância

Relativamente à distância, quanto mais afastado o equipamento se encontra do objeto em estudo, menor será a resolução da imagem termográfica dado que, o aumento da distância entre ambos, implica a perda do detalhe de cada ponto. A Figura 15 apresenta a distância da câmara termográfica de acordo com a região de interesse (ROI).

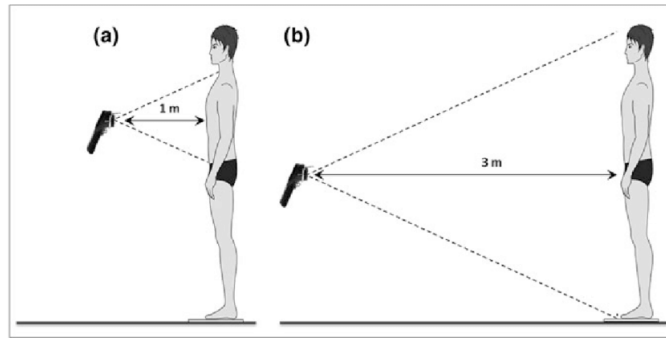


Figura 15: Exemplo de posição da câmara termográfica em relação à ROI (Quesada *et al.*, 2016)

Software

Existem vários softwares disponíveis para obter dados de temperatura a partir de uma imagem termográfica. O processo de aquisição de dados é importante para a termografia, sendo fundamental o domínio do software em utilização, os métodos de processamento de imagem bem como o formato da imagem térmica, uma vez que podem influenciar nos resultados finais. A maioria dos equipamentos apenas permite o registo de imagens termográficas, não sendo possível a ajuste de parâmetros no pós-processamento. Nestes casos é determinante o ajuste destes parâmetros antes da aquisição das imagens. No presente trabalho, o registo de dados foi efetuado através da aquisição de um filme termográfico, a partir da câmara termográfica, conectada ao computador. Neste caso, o pós-processamento é feito posteriormente, podendo haver alteração e/ou ajuste dos parâmetros que condicionem a fiabilidade dos dados.

A análise dos resultados obtidos foi efetuada através do software *FLIR ResearchIR Max*, cujo exemplo de *layout* se apresenta na Figura 16, baseado no processamento e análise de um espectro infravermelho de uma imagem.

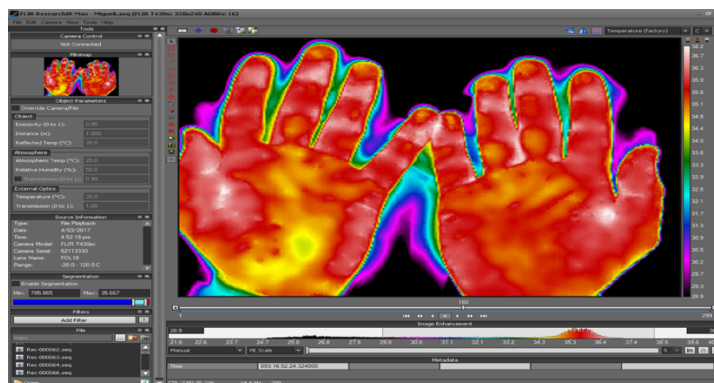


Figura 16: Layout software FLIR ResearchIR Max.

O software *FLIR ResearchIR Max* permite obter informações inerentes a uma ROI pré-definida, nomeadamente o valor da média e desvio padrão, centro, número de pixéis, área, comprimento

e o valor de temperatura máxima e mínima. Este software permite ainda visualizar o histograma no qual se pode verificar a distribuição dos valores ao longo da ROI bem como o osciloscópio, onde é possível identificar as regiões da imagem com maior saturação.

2.3.3. Domínios de Aplicação da Termografia

Sendo a termografia uma tecnologia de exame não invasivo, e devido às suas características não destrutivas, o recurso a esta técnica tem sido implementado numa vasta gama de áreas. Inicialmente usada para fins militares especializados, tem evoluído através do seu desenvolvimento e aperfeiçoamento. Atualmente, é uma tecnologia aplicada na construção civil, na indústria automóvel, na indústria metalúrgica, em instalações elétricas e mecânicas, na aeronáutica, em sistemas de vigilância e segurança, entre outros. Recentemente tem vindo a ser aplicada em investigação no contexto da medicina humana e veterinária (Gonçalves, 2011).

Termografia Aplicada na Construção Civil

Na construção civil, a termografia é utilizada como ferramenta de manutenção e reabilitação, permitindo a identificação de anomalias. É considerada uma ferramenta útil nas diversas fases do processo construtivo, desde a conceção do projeto até à avaliação da execução da obra (Pereira, 2012). Uma avaliação termográfica permite detetar anomalias, tais como a localização de fugas caloríficas, identificação de perdas energéticas através de paredes, problemas de isolamento e localização de humidades internas (Silva F. A., 2016). A Figura 17 apresenta algumas imagens termográficas no contexto da construção civil.

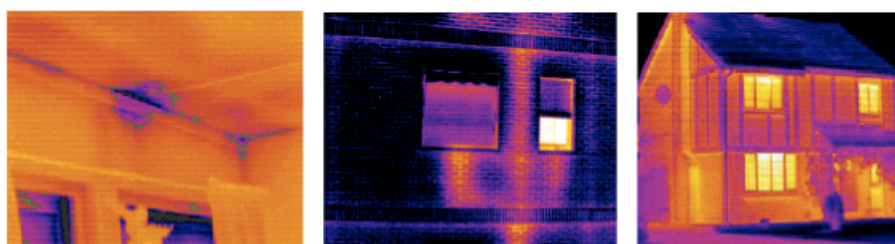


Figura 17: Exemplo de imagens termográficas aplicada à construção civil (Adaptado de (Gonçalves, 2011)).

Termografia Aplicada à Indústria Automóvel

Na indústria automóvel, a termografia tem-se revelado um forte aliado na análise das características térmicas dos motores, dos níveis de temperatura dos pneus, faróis e travões, assim como em sistemas de refrigeração (Gonçalves, 2011). A Figura 18 apresenta algumas imagens termográficas no contexto da indústria automóvel.

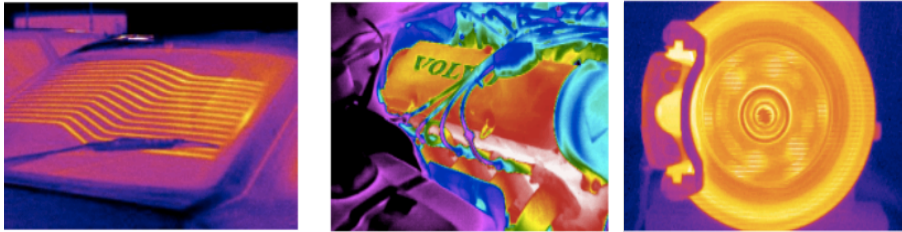


Figura 18: Exemplo de imagens termográficas na indústria automóvel (Adaptado de (Gonçalves, 2011)).

Termografia na Indústria Metalúrgica

Na indústria metalúrgica, a termografia tem especial relevância no estudo da espessura das paredes do material refratário, no controlo de temperatura em fornos e na localização de fugas térmicas (Pereira, 2012). A Figura 19 apresenta algumas imagens termográficas no contexto da indústria metalúrgica.

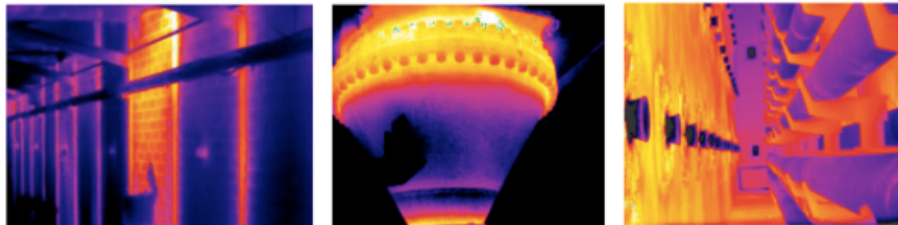


Figura 19: Exemplo de imagens termográficas na indústria metalúrgica (Adaptado de (Gonçalves, 2011)).

Termografia em Instalações Elétricas

No que se refere a instalações elétricas, a termografia tem um papel fundamental na inspeção e manutenção. Uma das principais causas de avarias nestas instalações elétricas envolve problema relacionados com a temperatura. Num circuito elétrico, a resistência está diretamente relacionada com a passagem de corrente, levando a variações da temperatura (Gonçalves, 2011). A termografia permite a deteção de sobreaquecimentos em contactos e conexões dos interruptores assim como nos bornes de transformadores. É uma ferramenta importante na localização de obstruções à passagem de corrente (Pereira, 2012). A Figura 20 apresenta algumas imagens termográficas no contexto de instalações elétricas.

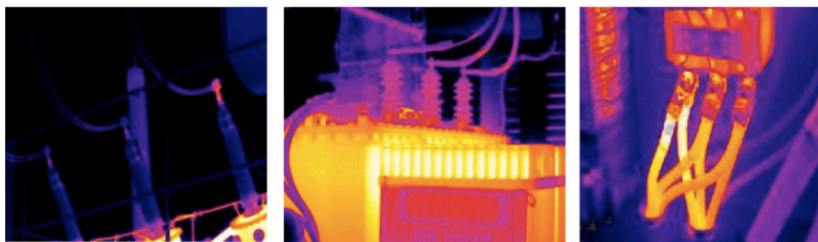


Figura 20: Exemplo de imagens termográficas em instalações elétricas (Adaptado de (Gonçalves, 2011)).

Termografia na Aeronáutica

Na aeronáutica, a termografia surge com o intuito de detetar imperfeições, pontos quentes ou falhas ao nível elétrico e eletrónico. É uma ferramenta importante no que se refere ao estudo do comportamento térmico de alguns componentes importantes para estes equipamentos, permitindo a sua caracterização e monitorização térmica, assim como a localização de fugas (Barreira, 2004). A Figura 21 apresenta algumas imagens termográficas no contexto da aeronáutica.

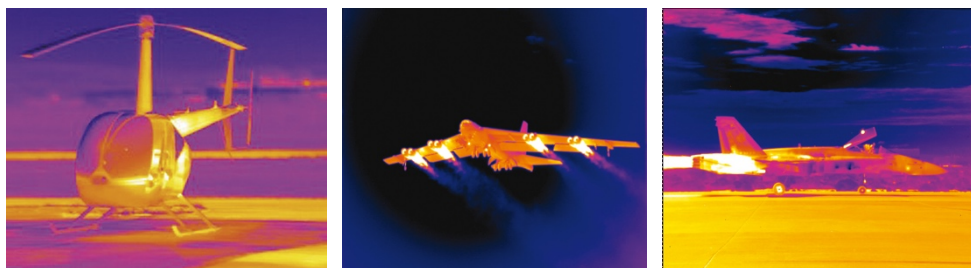


Figura 21: Exemplo de imagens termográficas em aeronáutica (Adaptado de (Álava, 2017)).

Termografia na Vigilância e Segurança

Desde a Segunda Guerra Mundial, que a termografia é utilizada como apoio em contexto de combate. Atualmente, os sensores de infravermelhos são utilizados em diversas situações de vigilância na sociedade civil, como por exemplo no controlo de infrações de trânsito e na deteção de incêndios (Barreira, 2004). Em relação à vigilância marítima, a termografia permite o apoio na localização e resgate de embarcações naufragadas assim como o controlo de tráfego marítimo. A Figura 22 apresenta algumas imagens termográficas no contexto de vigilância e segurança.

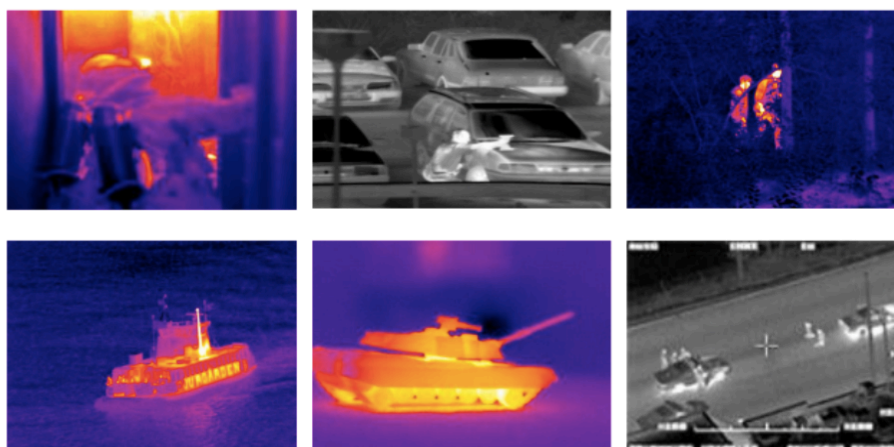


Figura 22: Exemplo de imagens termográficas em contexto de vigilância e segurança (Fraga *et al.*, 2009).

Termografia na Medicina Humana e Veterinária

Como tecnologia não-invasiva, a termografia pode ser aplicada à medicina na avaliação de tecidos e fluidos do corpo. Entre outros, a termografia permite a definição de padrões térmicos superficiais de um paciente através de equipamentos que permitem obter informação visual e quantitativa da distribuição das temperaturas do corpo (Barreira, 2004). Esta tecnologia possibilita a aquisição de informações sobre o funcionamento, normal ou anormal, do sistema sensorial, de disfunções vasculares, traumas musculares e inflamações. Presentemente, tem vindo a ser utilizada como apoio na deteção do cancro da mama e na avaliação de queimaduras (Oliveira, 2012). A Figura 23 apresenta algumas imagens termográficas no contexto da medicina humana.

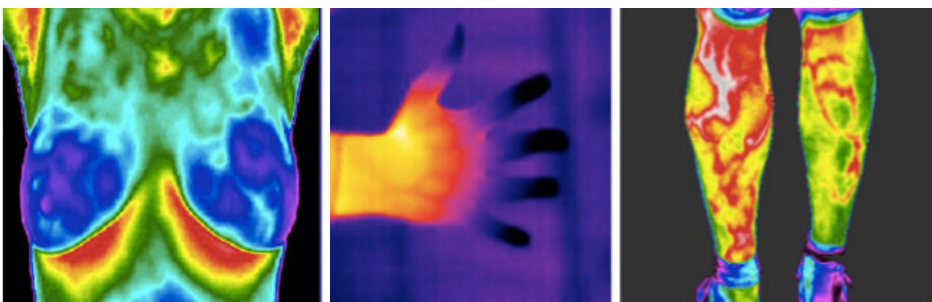


Figura 23: Exemplo de imagens termográficas na medicina humana (Adaptado de (Gonçalves, 2011)).

Na medicina veterinária, a termografia tem vindo a ser usado como meio de apoio no diagnóstico de problemas em animais. O facto de ser uma tecnologia sem contacto permite reduzir o *stress* do animal durante os exames médico-veterinários. Por outro lado, é uma ferramenta importante na realização de estudos em animais selvagens, em particular nomeadamente para espécies de grande porte (Barreira, 2004). A Figura 24 apresenta algumas imagens termográficas no contexto da medicina veterinária.

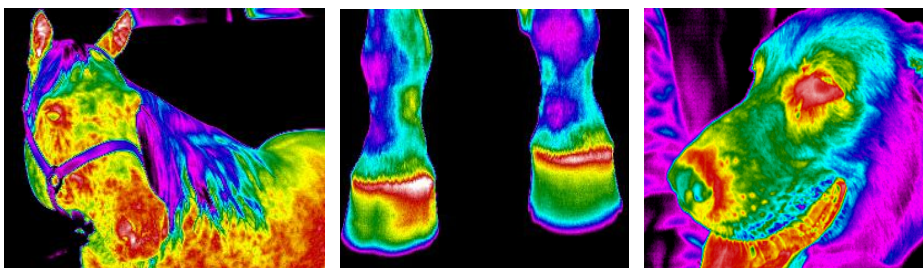


Figura 24: Exemplo de imagens termográficas aplicadas à medicina veterinária (Adaptado de Wikipédia, 2017).

3. Revisão Bibliográfica

Tendo em consideração a sua evolução e utilidade/benefícios, os estudos desenvolvidos com a implementação de técnicas baseadas em termografia tem vindo a aumentar em diversas áreas. A revisão bibliográfica aqui apresentada remete para alguns trabalhos publicados em diferentes domínios, tendo a termografia como base de implementação.

Em contexto industrial, a introdução de técnicas baseadas em termografia tem vindo a ser desenvolvida e implementada como ferramenta de apoio em manutenção e prevenção de falhas em equipamentos. Como exemplo, Jadin *et al.* (2012) publicaram uma revisão da aplicação da termografia em diagnóstico de equipamentos elétricos, onde incluem a identificação de anomalias térmicas e base de suporte a métodos de medição. A termografia permite controlar o comportamento térmico de um equipamento elétrico detetando a emissão da temperatura do equipamento dado que, a vida dos equipamentos é reduzida à medida que as temperaturas aumentam. Assim, de acordo com os autores, o acompanhamento das condições de funcionamento através do estudo de imagens termográficas permite identificar a presença de anomalias térmicas em equipamentos elétricos.

Sabendo que a prevenção precoce de anomalias térmicas em equipamentos elétricos é fundamental para evitar falhas, Huda *et al.* (2013) aplicaram a termografia em procedimentos de manutenção preventiva de defeitos térmicos. Estes autores abordam os conceitos associados à manutenção preventiva e preditiva bem como o enquadramento de defeitos térmicos em equipamentos elétricos. No estudo experimental que publicam, recorrem a uma câmara termográfica, *FLIR SC7000* e ao software *Mosaic* para a identificação e localização de danos em equipamentos elétricos, demonstrando a viabilidade na utilização da técnica.

Também Bagavathippan *et al.* (2013) apresentam uma revisão dos avanços alcançados com a implementação desta tecnologia como ferramenta não invasiva em monitorização de estruturas civis, instalações elétricas e em processos de soldadura. Em estruturas civis podem-se encontrar diversas aplicações da termografia, como por exemplo na identificação de zonas específicas no interior e exterior de edifícios, em monitorização de redes de aquecimento, sistemas de esgotos, canais de águas residuais, em estradas, pontes e pavimentos de asfalto, entre outros. Nestes casos, a termografia tem sido utilizada no controlo das condições de fachadas, deteção de fissuras, inspeção de estruturas bem como na deteção de humidade. Outra área com vasta aplicação desta tecnologia envolve a monitorização de componentes elétricos e eletrónicos, como por exemplo na identificação de pontos de corrosão, conexões soltas, danificação de contactos, desgastes de condutores e desequilíbrios de carga, que representam as principais falhas neste tipo de componentes elétricos, dada a sua associação a um aumento anormal da temperatura.

Em termos mecânicos, os componentes de equipamentos podem estar sujeitos a diversos tipos de sollicitação. No caso particular de sollicitações com desalinhamentos e/ou com carregamentos cíclicos, o fenómeno de fadiga está normalmente associado a perdas de energia mecânica pela sua transformação em calor, dado um aumento localizado de temperatura. Também nestas situações a termografia se pode ser útil, e tem vindo a ser gradualmente implementada como ferramenta de monitorização da deformação de materiais. Por exemplo, a FLUKE (s.d), descreve ainda a aplicação da termografia em contexto industrial como método de inspeção de componentes de máquinas e equipamentos, como por exemplo na deteção de desalinhamentos, lubrificação inadequada, acompanhamento do estado de rolamentos, turbinas, entre outros.

Na indústria automóvel, Annibale *et al.* (2015), utilizaram a termografia para fins de manutenção no processo de produção de componentes para alternadores de veículos automóveis, em particular na monitorização da fase de estampagem dos componentes. Tratando-se de processos de flexão e cunhagem de peças em bruto, com a inerente deformação plástica, é essencial o acompanhamento e monitorização tanto dos equipamentos como dos componentes, de modo a reduzir paragens inesperadas ao longo de processo. Os autores recorrem a um equipamento *FLIR ThermaCAM S65 HS* para estudar o comportamento da peça em algumas zonas críticas onde ocorre um aumento da temperatura devido à deformação plástica do material mas também devido aos efeitos de fricção relacionados com o deslizamento material. O procedimento desenvolvido, baseado na termografia por infravermelhos, permitiu melhorias na manutenção da ferramenta no caso de componentes produzidos em massa.

Também na área clínica, são vários os estudos realizados com aplicação da termografia. Por exemplo, Lahiri *et al.* (2012) publicaram uma revisão com algumas aplicações da termografia como ferramenta de diagnóstico médico mais preciso em medições anormais de padrões de temperatura. A revisão remete para áreas de aplicação como deteção do cancro da mama, diagnóstico de neuropatia diabética e transtorno vascular, diagnóstico odontológico, aplicações dermatológicas, diagnóstico de doenças reumáticas, síndrome do olho seco e doenças oculares, doenças hepáticas, tratamentos de rins, operações cardíacas, ginecologia, testes de personalidade e imagens cerebrais. Estes autores referem a utilidade da termografia como ferramenta alternativa de diagnóstico médico, enumerando vantagens da técnica tais como, mais precisão e resolução, maior sensibilidade a oscilações de temperatura.

Wu *et al.* (2009) pretenderam avaliar respostas fisiológicas locais antes e após tratamentos para coccigodinia, combinadas com diatermia de ondas curtas. Pacientes que tenham sido sujeitos a tratamentos prévios foram alvos de exclusão e os restantes foram submetidos a exames físicos e retal digital. A avaliação da dor foi efetuada com recurso a uma escala numérica de 0 a 10, ao longo de 12 semanas. Previamente ao exame, foi verificada a temperatura corporal de cada um dos pacientes de modo a garantir que não existiam temperaturas extremas, isto é, abaixo de 36.4°C e acima de 37.2°C. Durante 15 minutos, e à temperatura de 22°C, os pacientes atingiram o equilíbrio entre a temperatura corporal e a temperatura ambiente. Assim, num total de 53 pacientes, 6 do género masculino e 47 do género feminino, com coccigodinia e de idade entre

18 e 71 anos, submeteram-se a 6-8 sessões de 20 minutos de tratamento e fisioterapia três vezes por semana durante 8 semanas. A região do cóccix foi fotografada com uma câmara termográfica, posicionada a uma distância de 90 cm. Da avaliação termográfica, os autores concluem que os tratamentos foram eficazes no tratamento de coccigodinia aguda ou crónica para o grupo de pacientes considerados, com uma diminuição significativa da temperatura local da pele após a terapia. Perante os resultados obtidos, referem o potencial na utilização da termografia como ferramenta de controlo da doença após o tratamento. Ainda como resultados, os autores identificaram uma elevada correlação entre a melhoria das classificações de escala numérica da dor e a diminuição da temperatura, indicando que a técnica pode mostrar a remissão de atividades inflamatórias com a melhoria da dor.

Também Bouzida *et al.* (2009) implementaram a termografia com o objetivo de avaliar o sistema termorregulador da mão com base na geração e perda de calor. O estudo foi realizado em 12 voluntários, do género feminino e do género masculino com faixa etária entre os 25 e 35 anos, com diferentes tons de pele e sem historial ou sintomas de artrites ou doença de Raynaud. Todos os voluntários foram submetidos a um período de 10 minutos de aclimatização à temperatura da sala (24°C) onde decorreu o estudo. Para a aquisição de imagens termográficas utilizaram uma câmara MWIR da *FLIR*. A primeira abordagem consistiu na aplicação de uma braçadeira no antebraço, com a finalidade de modular o fluxo sanguíneo, que por sua vez é suportado horizontalmente e imóvel. A segunda abordagem envolve um estímulo frio, sendo a mão esquerda colocada sobre uma superfície de metal frio (13°C). As imagens termográficas foram recolhidas antes e após a aplicação do estímulo frio, por um período de 3 minutos, permitindo visualizar a distribuição da temperatura na parte de trás da mão. Os resultados mostram um equilíbrio de temperatura entre a mão estimulada e não estimulada devido à compensação da produção/perda de calor realizada pelo sistema de termorregulação. No entanto, verificaram que a temperatura das extremidades dos dedos tende a aumentar ao longo da exposição prolongada no frio e que cada zona da mão não reage aos estímulos térmicos da mesma forma.

Num estudo biomecânico, Shah *et al.* (2012) aplicaram a termografia com o objetivo de estimar a distribuição das tensões principais num modelo de fémur artificial da Sawbones, instrumentado com extensómetros e submetido a cargas cíclicas no seu eixo mecânico. Recorrendo a uma câmara termográfica, os autores obtiveram quatro valores de sinal em cada pixel da imagem para quatro momentos distintos, correspondentes a três níveis de força considerados. A metodologia para estimar as tensões foi baseada no princípio que, durante a compressão de um objeto, a sua temperatura aumenta e quando a tensão é removida, o objeto retorna à sua forma e temperatura inicial. Com base no estudo efetuado, os autores publicam uma expressão matemática para a correlação entre a termografia e a força cíclica aplicada, sugerindo a técnica com potencial em algumas aplicações ortopédicas.

Martins *et al.* (2012) utilizaram a termografia como meio de diagnóstico de insuficiência venosa após cirurgia de varizes em membros inferiores. A aquisição de imagens térmicas foi obtida previamente ao estudo clínico e após cirurgia. Os participantes, um do gênero masculino e quatro do gênero feminino de diferentes faixas etárias, portadores desta patologia, foram colocados em repouso durante um período de 10 minutos numa sala de temperatura controlada. A aquisição de imagens foi realizada em vários ângulos, considerando nas definições uma emissividade de 0.98, humidade relativa de 50% e a distância da câmara para o objeto de 0.50 m. Perante os resultados, verificou-se que em 75% dos casos ocorreu um agravamento da perna saudável. A posição ideal para a aquisição das imagens foi em pé dada a pressão exercida sobre as veias. Do estudo realizado, verificou-se a eficácia da tecnologia na identificação de varizes difíceis de visualizar e que, conseqüentemente, comprometem a cirurgia.

Também Bezerra *et al.* (2013) aplicaram a termografia como método de diagnóstico no cancro da mama. Tendo como base um grupo de pacientes voluntários, no estudo que desenvolveram, e previamente ao exame normal, os autores recolheram um conjunto de imagens termográficas com diferentes posicionamentos relativamente ao tecido mamário, recorrendo ainda a uma grade metálica colocada na frente do peito do paciente para identificar o volume do tecido em análise. Os autores recorrem ao equipamento *FLIR ThermaCAMTM S45* para a aquisição das imagens termográficas, procedendo ao tratamento dos dados das imagens com base nas propriedades termofísicas das diferentes regiões dos tecidos mamários e dos nódulos.

Hadzic *et al.* (2015) implementaram a técnica de termografia num estudo de avaliação da relação existente entre a temperatura da pele e a fadiga muscular de um voluntário com experiência de treino em ciclismo. Recorrendo a um laboratório com ambiente controlado, e com um protocolo definido para utilização de uma bicicleta estática, os autores adquiriram vídeos termográficos a uma distância de um metro com ajuste da emissividade a 0.98, durante períodos de 7.5 minutos. A potência muscular foi obtida através da instrumentação dos músculos quadríceps, com os dados recolhidos de modo sincronizado com as imagens termográficas. Como resultado, verificaram uma correlação significativa entre ambos uma vez que, no decorrer do exercício, a temperatura da pele aumenta e a potência dos quadríceps diminui.

Também num estudo de Rossignoli *et al.* (2016), com a finalidade de analisar a temperatura da pele em três fases de um teste de propulsão da cadeira de rodas e avaliar a relação entre a eventual dor no ombro e a temperatura cutânea pré, durante e pós teste, os autores recorreram à técnica termográfica. Com um grupo de voluntários envolvendo doze atletas em cadeira de rodas, seguindo um protocolo de repouso com aclimatização, e teste em execução, registaram diversos termogramas que incluíram imagens do tronco e dos membros superiores de ambos os lados do corpo. A câmara termográfica foi colocada entre 2 a 3 metros de distância da pele do atleta, de modo a coincidir com o centro da imagem, e cada imagem foi obtida assumindo uma emissividade da pele de 0.98. Recorrendo a transdutores lineares, os autores registaram o número de propulsões, a velocidade e a potência em cada braço, que lhes permitiu avaliar o

índice de dor. Como resultado, verificaram diferenças significativas entre a fase de pré-teste e após 10 minutos (última fase). Esta diferença é atenuada quando comparada a temperatura da pele nos mesmos momentos, que tende a diminuir imediatamente após o teste e, em seguida, aumentar significativamente após o exercício.

Um estudo de Tanda (2016) envolveu a análise da temperatura da pele durante o exercício de corrida ao ar livre e em passadeira. Um grupo de atletas saudáveis participaram em competições de meia e longa distância, assim como em exercícios de corrida em passadeira, com ambiente controlado. O estudo teve como base a aquisição de um conjunto discreto de imagens termográficas sobre a pele nua considerando uma emissividade de 0.98. Da análise de resultados, os autores identificaram uma queda na temperatura da pele durante a fase inicial do exercício, sugerindo uma relação com a resposta vasoconstritora cutânea.

Formenti *et al.* (2016) usaram a termografia com o intuito de verificar a influência da velocidade na execução de exercícios de agachamento na temperatura da pele. Recorrendo a um grupo de treze voluntários do gênero masculino, com um protocolo inicial de aquecimento, 5 minutos em passadeira e 2 minutos de exercício de agachamento. Com ambiente controlado, os voluntários são posteriormente sujeitos a 15 minutos de repouso seguindo-se exercícios de agachamento à velocidade normal, repetindo o movimento até à exaustão. De forma análoga, e com 5 dias de diferença, submeteram os voluntários ao mesmo tipo de exercício de agachamento, mas agora em velocidade lenta. As imagens térmicas foram registadas durante 120 segundos antes do exercício de forma a determinar a temperatura da pele e durante 480 segundos após o início do exercício com a finalidade de analisar a evolução da mesma ao longo das três fases (estado estacionário, execução e recuperação). Com resultados estatisticamente significantes, os autores verificaram que a temperatura da pele diminui acentuadamente em resposta ao exercício em velocidade normal, ao passo que diminui mais lentamente em resposta ao exercício em velocidade lenta, devido à alteração de intensidade do exercício.

Ghahramani *et al.* (2016) pretenderam acompanhar os níveis de desempenho de termorregulação e conforto térmico de um indivíduo através da medição da temperatura da sua pele em vários pontos do rosto. Com um grupo de 15 voluntários, recorreram a um ambiente térmico controlado para exposição dos voluntários. A duração da experiência de cada participante foi de quatro dias sendo que, durante os primeiros três dias foram fornecidas condições confortáveis com base nas preferências dos participantes. Ao quarto dia, impuseram condições de temperatura extremas de modo a expor os participantes a diferentes estímulos térmicos. Para entender as respostas térmicas, utilizaram a temperatura da pele facial como medida do fluxo sanguíneo da pele por meio de uma armação de óculos com sensores de infravermelhos. Cada participante classificou a sua escala de conforto com um intervalo de 15 minutos. A correlação entre o desempenho da termorregulação e os estímulos térmicos foi implementada através do coeficiente de correlação de Person, tendo-se verificado variações significativas no desempenho da termorregulação entre o gênero masculino e feminino sendo que, as respostas do gênero feminino são menos sensíveis a condições quentes.

Também em contexto de biomecânica orofacial, Haddad *et al.* (2014) avaliaram termograficamente um grupo de voluntários com e sem distúrbios temporomandibulares (DTM) miogénica. A distribuição de temperatura na superfície da área facial sobre os músculos temporal anterior e masséter foi avaliada nos voluntários através de imagens termográficas. Os resultados mostraram níveis de temperatura nas regiões do músculo masséter e temporal anterior em voluntários com DTM significativamente menores que os medidos no grupo de controle. Por sua vez, a imagem termográfica indicou uma diferença média de 1,4°C entre as regiões dos músculos masséter e temporal anterior. Os autores sugerem que o método de avaliação das regiões musculares mastigatórias baseado em termografia pode ser utilizado como método auxiliar no diagnóstico complementar de DTM's.

Ainda em contexto orofacial, Dibai Filho *et al.* (2013) recorreram também a termografia para avaliar a precisão da técnica no diagnóstico de disfunções nos músculos mastigatórios. Para tal, consideraram um grupo de 104 voluntários do género feminino, divididas em dois grupos: um grupo portador da disfunção e outro não portador. No protocolo de teste, as voluntárias foram inicialmente colocadas numa sala climatizada, durante 20 minutos, sem a presença de geradores de calor e sem incidência de fluxos de ar ou luz solar. Após o período de repouso, uma câmara termográfica posicionada a 1 metro do rosto e com afinação da emissividade para 0.98, captou três imagens que permitiram estabelecer uma tabela de comparação entre os grupos quanto aos valores da temperatura na superfície da pele na zona dos músculos mastigatórios. Dos resultados obtidos, não foram observadas diferenças significativas na temperatura quando comparados os grupos, tendo o estudo sido inconclusivo.

Os mesmos autores, Dibai-Filho *et al.* (2015) correlacionaram o grau de severidade da disfunção temporomandibular com o mapa de temperatura da pele sobre a articulação temporomandibular (ATM) e os músculos masséter e temporal anterior. Num estudo cego que envolveu 60 voluntários do género feminino com idades entre os 18 e 40 anos, e com grupos criados com base no índice anamnésico: ausência de DTM, DTM leve, DTM moderada e DTM severa, os voluntários foram submetidos a termografia infravermelha para a determinação da temperatura da pele sobre os músculos masséter e temporal anterior. As imagens termográficas foram obtidas através de uma câmara FLIR T360, com ajuste da emissividade em 0.98, colocada a uma distância de 1m do voluntário. Os resultados obtidos revelaram uma correlação entre a gravidade da DTM e as temperaturas da pele sobre a ATM direita e esquerda. Além disso, as comparações demonstraram uma variação maior na temperatura da pele sobre a ATM direita e esquerda em grupos com DTM mais grave. Contudo, não verificaram nenhuma associação entre a gravidade da DTM e a temperatura da pele sobre o músculo masséter ou temporal anterior.

Wozniak *et al.* (2015) pretenderam avaliar a sensibilidade e especificidade da aplicação da termografia em pacientes com disfunções temporomandibulares. Com uma amostra de 50 pacientes, 27 do género feminino e 23 do género masculino com idades compreendidas entre os 19.2 e 24.5 anos, e portadores de sintomas de disfunção temporomandibular e 50 pacientes, 25 do género feminino e 25 do género masculino com idades compreendidas entre os 19.3 e

25.1 anos, sem sintomas de DTM, a função do sistema mastigatório foi avaliada com base em exame clínico e em termografia. A termografia, realizada através de um sistema *ThermaCAM TMSC500*, foi combinada com 10 minutos de mastigação. A aquisição de dados foi realizada antes e após o teste de mastigação. Com os resultados obtidos, os autores sugerem que a termografia permite aumentar a eficácia na identificação de pacientes com DTM.

Apesar de não envolver o uso de termografia, refere-se ainda um estudo importante para o contexto de uma das aplicações deste trabalho. Zandi *et al.* (2015) realizaram um estudo com o objetivo de avaliar o efeito da aplicação de gelo na redução de dor, trismo e inchaço após a extração do terceiro molar. Para tal, 30 pacientes com idades compreendidas entre os 18 e 30 anos, (7 do género masculino e 23 do género feminino) com simetria bilateral da mandíbula foram submetidos a um estudo clínico cego e randomizado. Após a remoção cirúrgica do dente de um lado da mandíbula (lado do estudo), os pacientes foram instruídos a aplicar compressas de gelo no período de 20 minutos, seguidos por um período de repouso de 20 minutos durante as primeiras 24 horas após a cirurgia. A quantidade de dor, trismo e inchaço facial foi avaliada ao segundo e sétimo dia após a cirurgia bem como a satisfação do paciente. A análise da dor foi efetuada com recurso a uma escala de classificação numérica (0 = sem dor e 10 = intensidade máxima de dor). O inchaço foi avaliado de acordo com a distância linear do ângulo da mandíbula para o canto lateral do olho e do tragus para o canto da boca antes da cirurgia. A soma das distâncias foi registada como o tamanho facial e, por sua vez, o tamanho do inchaço foi obtido através da subtração do tamanho facial pré-operatório a cada uma das medidas pós-operatórias. A magnitude do trismo foi calculada subtraindo cada uma das distâncias inter incisais pós-operatórias da medida pré-operatória. A análise estatística foi realizada através do software *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS) e os dados expressos como valores médios do desvio padrão. Da análise, verificaram que a quantidade de dor, trismo e inchaço facial e a extensão e a satisfação do paciente não foram significativamente diferentes entre a terapia com frio e nenhum método de terapia a frio.

4. Identificação dos Mapas de Temperatura na Mão

O primeiro estudo que se apresenta neste trabalho envolve a utilização da termografia na identificação dos mapas térmicos da mão, tanto no dorso como na superfície palmar. Havendo pouco conhecimento a este respeito, foi considerado relevante a implementação deste estudo, tanto pela análise da viabilidade na utilização da técnica de termografia como pela contribuição para determinação destes mapas relativamente à mão, onde existe pouco trabalho publicado. Além disso, pretendia-se identificar eventuais diferenças significativas do que é indicado como padrão normal numa população saudável. Assim, na primeira parte do capítulo apresentam-se as principais características associadas à biomecânica da mão. Depois descreve-se a metodologia experimental usada neste estudo. Finalmente, apresentam-se os resultados obtidos, a sua discussão e as conclusões que se retiram desta análise.

4.1. A Mão

A mão é a região do membro superior distal ao antebraço e articulação do pulso. Pode ser considerada como uma ferramenta mecânica com características sensoriais, composta por uma estrutura complexa de ossos, músculos, nervos e vasos sanguíneos (Jones *et al.* 2006). Além da gestão de movimentos e gestos, é importante na capacidade de preensão, importante na biomecânica do corpo humano. O esqueleto básico do pulso e da mão é constituído por 27 ossos e divide-se em três partes: carpo (pulso), metacarpo e falanges (cinco dedos). É constituída por uma superfície anterior (palma) e uma superfície posterior (dorso da mão). As suas terminações sensoriais são determinantes, entre outros para o toque e identificação de dor (Johannes, 2012). O sistema muscular da mão pode ser dividido em três regiões: músculo tenar, que envolve o polegar, músculos palmares (lumbricais e interósseos) e hipotenar, que envolve o metacarpo do dedo mindinho (Filho *et al.* 2009), conforme apresentado na Figura 25.

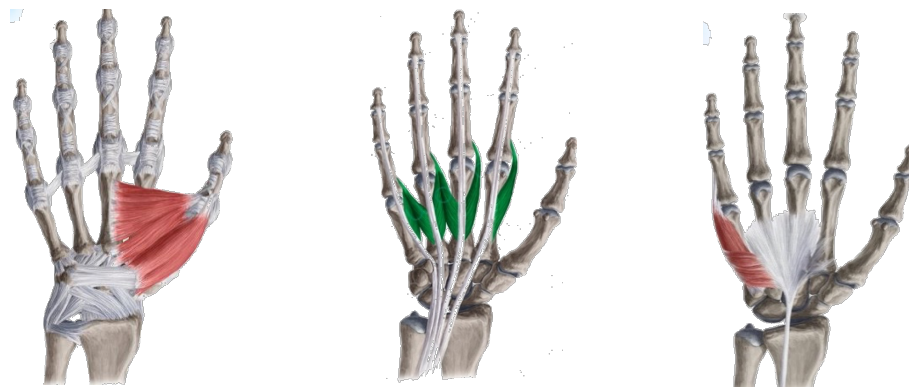


Figura 25: Tenar, músculos palmares e hipotenar da mão (Kenhub, 2017).

4.1.1. Vasos Sanguíneos

No sistema venoso (Figura 26), identificam-se dois tipos de veias proeminentes da extremidade do membro superior: veias superficiais e veias profundas (Aghoghovwia *et al.* s.d.). No caso das veias superficiais do membro superior, com interesse neste estudo, destacam-se as cefálicas e as basilicas, provenientes do dorso da mão. A veia cefálica, lateral ao membro superior, tem comunicação com a veia basilica através de uma veia intermédia do cotovelo e drena para a veia axilar (Jones, 2017). No caso da veia basilica, esta tem origem na rede venosa existente na metade medial do dorso da mão. Para além disso, no dorso da mão são consideradas como veias profundas da mão as veias digitais e metacarpais palmares. As veias digitais dorsais drenam-se em três veias metacarpais dorsais, que se unem para formar uma rede venosa dorsal. No entanto, relativamente pouca quantidade de sangue é drenada da mão para as veias profundas do antebraço e parte do sangue da palma da mão passa para a rede venosa no dorso. Como veia superficial da palma da mão, destaca-se a veia mediana. Esta veia está associada ao sistema arterial, nomeadamente aos arcos palmar superficiais e profundos, designados por arcos palmar venosos profundos (Johannes, 2012).

Além dos arcos palmares, o sistema arterial da mão é constituído por artérias provenientes do ombro e do cotovelo, tais como as artérias axilar, braquial, ulnar e radial (Figura 26). A artéria axilar tem a função de alimentar os tecidos na zona do ombro. A artéria radial é um dos principais vasos sanguíneos, transportando sangue para o antebraço e para a mão. Proveniente da artéria braquial, esta percorre os músculos até à superfície do pulso e, posteriormente, é ramificada originando uma rede de vasos de sangue na mão denominado de arco palmar profundo. A artéria ulnar, à semelhança da artéria radial, também fornece sangue ao antebraço e à mão. Ramifica após a zona do pulso, com vasos de sangue na mão designada de arco palmar superficial. (American Society for Surgery of the Hand (ASSH), s.d.)

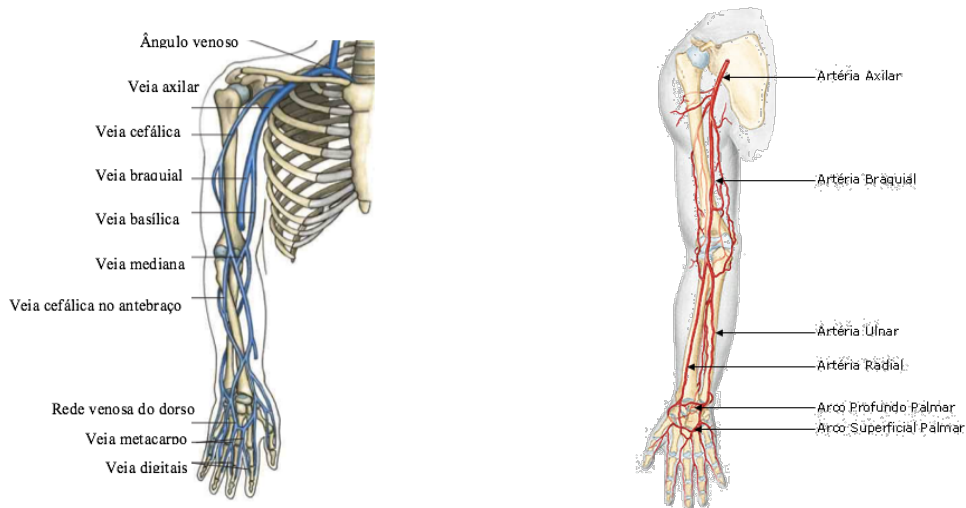


Figura 26: Sistema venoso (à esquerda) (Rohen *et al.*, 2011) e sistema arterial (à direita) do membro superior (SOBOTTA, 2000).

4.1.2. A Pele

A pele, órgão estrutural de revestimento, proteção e respiração de toda a superfície corporal, é formada por três camadas sobrepostas: a epiderme, que reveste exteriormente a superfície do corpo e é composta por células organizadas e sobrepostas em estratos; a derme, parte profunda da pele, localizada após a epiderme e que é ricamente irrigado e enervado; a hipoderme, situada abaixo da derme, é um tecido subcutâneo constituído por tecido com fibras elásticas e contém gordura entre as suas malhas (Matos, 2014). A Figura 27 mostra a configuração da pele humana.

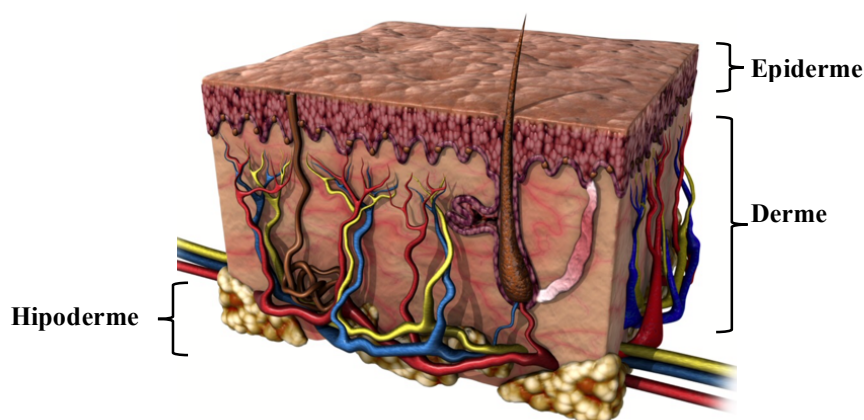


Figura 27: Identificação das camadas da pele humana (Moore, 2010).

Importa referir que a pele que cobre o dorso da mão é magra e flexível, fixa ao esqueleto da mão através do tecido areolar solto. A pele palmar é espessa, glabra e não flexível e o fornecimento de sangue à pele palmar ocorre através de vasos digitais comuns (Jones *et al.* 2006). A pele da superfície palmar da mão contém uma alta concentração de órgãos nervosos sensoriais, fundamentais à função normal da mão. Além disso, apresenta uma textura especial, adequada para a preensão de objetos, sendo usada nas impressões digitais, únicas para cada indivíduo (Jones *et al.* 2006).

4.2. Objetivos do Estudo

O conhecimento das características associadas à anatomia humana desempenha um papel importante sendo útil em diversas situações, em especial no contexto da saúde. Por exemplo, a identificação dos pontos de atilho, ligados à hiperirritabilidade muscular, é uma das características revelantes. No entanto, muitas outras particularidades podem ter um papel importante. Uma delas pode passar pelo conhecimento dos mapas térmicos do corpo humano. Reconhecendo esta importância, a pesquisa que se apresenta pretende ser uma contribuição nessa caracterização. Assim, este estudo teve como objetivo identificar o mapa térmico da mão, tanto do dorso como da superfície palmar, demonstrando que a termografia é uma técnica adequada para este tipo de caracterização.

4.3. Metodologia Experimental e Protocolo de Aquisição de Dados

O estudo experimental envolveu uma amostra constituída por 33 voluntários, 23 do género masculino e 10 do género feminino com idades compreendidas entre os 20 e os 28 anos. Todos os participantes no estudo foram esclarecidos dos objetivos do estudo, assim como do procedimento experimental a executar. Desta forma, todos os envolvidos participaram de forma voluntária tendo assinado um consentimento livre, esclarecido e informado (Apêndice 9.1). De modo a garantir o anonimato dos participantes, os mesmos foram identificados por um ID numérico. A aquisição de dados teve lugar no Instituto Superior de Engenharia de Coimbra. Não foi imposto qualquer critério de exclusão na aceitação dos voluntários, nem imposição de procedimentos especiais em pré-recolha de dados. Deste modo foi garantida a aleatoriedade dos dados. O estudo envolveu a aquisição de filme termográfico com recurso a uma câmara termográfica, *FLIR T430sc*, apresentada no capítulo 2.3.1 e ilustrada na Figura 10.

A aquisição do filme termográfico foi realizada em duas etapas distintas. Primeiro o voluntário foi instruído a colocar as duas mãos paralelas e ligeiramente afastadas, numa posição relaxada e confortável, com a parte dorsal virada para cima. Esta posição permitiu a recolha do primeiro extrato de filme. Depois, o voluntário foi instruído a virar a parte palmar para cima, estabilizando-a numa posição confortável, sendo recolhido o segundo extrato de filme.

De modo a garantir uma adequada aquisição de dados, foi construída uma caixa de cartão, envolta num pano de flanela preto, com uma altura 60 cm e com uma abertura no cimo para posicionamento da câmara. Na base da caixa foi colocado um tecido escuro para superfície de apoio as mãos. A caixa, com uma abertura frontal para entrada das mãos, foi posicionada em cima de uma mesa, de forma a que o voluntário, sentado, consiga de modo confortável inserir as mãos no interior da caixa. Com este procedimento, foi garantida a ausência de fontes de luz exteriores bem como um maior contraste entre as mãos e o fundo da imagem termográfica. A Figura 28 ilustra o *setup* experimental e um momento de aquisição de dados com uma voluntária.

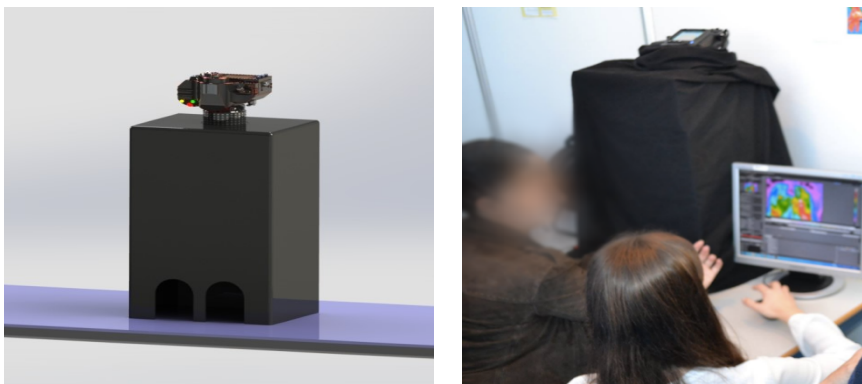


Figura 28: *Setup* experimental (esquerda) e visualização de um momento de aquisição do filme termográfico de uma voluntária (direita).

4.4. Tratamento e Análise de Dados

O pós-processamento dos filmes recolhidos foi efetuado com recurso ao software *FLIR ResearchIR Max*, sucintamente exposto no capítulo 2. A temperatura da pele foi extraída em diferentes regiões de interesse pré-definidas, conforme apresentado na Figura 29, tendo sido atribuída uma nomenclatura para facilitar a sua leitura e interpretação. Assim, a nomenclatura atribuída foi codificada de acordo com

$$ROI(i, j, k), j = \{D, P\}, k = \{m, A, M, I, P\}, k = \{E, D\} \tag{5}$$

onde D/P codifica o dorso ou a palma da mão; m/A/M/I/P codifica os dedos: mindinho, anelar, médio, indicador e polegar; E/D codifica a mão esquerda ou direita. Como exemplo, a nomenclatura DmE representa o mindinho na parte do dorso da mão esquerda.

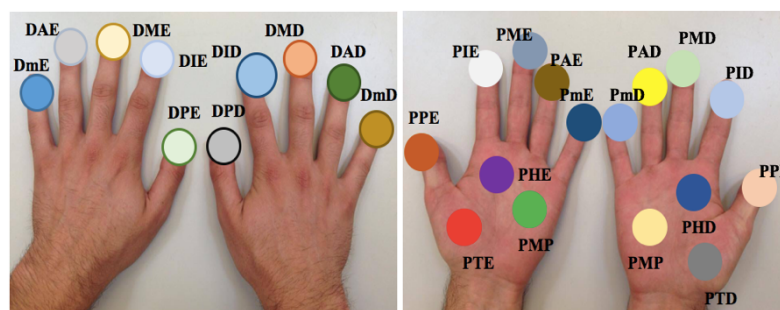


Figura 29: Nomenclatura atribuída ao dorso e superfície palmar.

Após a extração e registo dos mapas de temperatura, os dados recolhidos foram testados quanto à sua normalidade com recurso ao software *RStudio*, versão 1.0.143. Este software pode ser classificado como um ambiente de programação, com ferramentas que permitem a manipulação de dados, cálculos, análise estatística e representação gráfica. É caracterizado pela sua ampla variedade estatística que permite modelação linear e não-linear, testes estatísticos clássicos, análise de séries temporais, entre outros. A linguagem R é tipicamente interpretada através da utilização de comandos (Margalho, 2015). A interface com o utilizar é ilustrada na Figura 30.

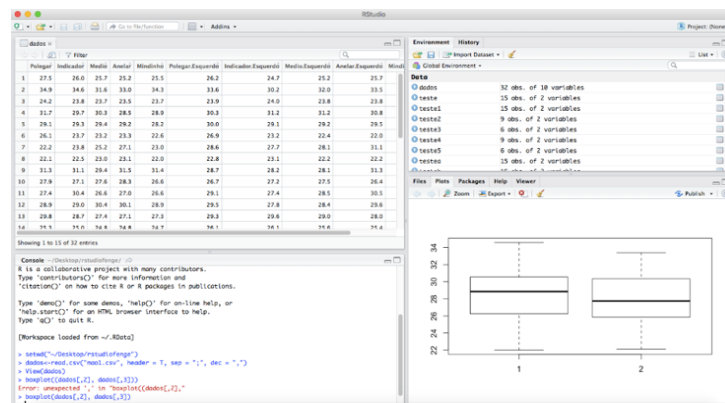


Figura 30: Layout do Software RStudio.

Para todos os participantes foram analisadas e registadas individualmente as diferentes temperaturas para cada região de interesse com o intuito de avaliar a variação que ocorreu em cada uma dessas regiões. Expõem-se de seguida os resultados obtidos.

4.4.1. Imagens Termográficas - Exemplo

Atendendo à quantidade de imagens termográficas obtidas, assim como à diversidade de parâmetros em estudo, são apresentadas como exemplo as imagens correspondentes a um voluntário, escolhido aleatoriamente. As restantes imagens termográficas encontram-se em Apêndice 9.3. Assim, a Figura 31 apresenta as imagens termográficas referentes ao dorso e superfície palmar. Estas imagens correspondem ao voluntário 026 e evidenciam com clareza a distribuição e diversificação de temperaturas nas várias regiões de interesse. A esta variação de temperatura está associada uma escala de cores em que o branco e vermelho representam as temperaturas mais elevadas e as restantes cores representam as temperaturas mais baixas.

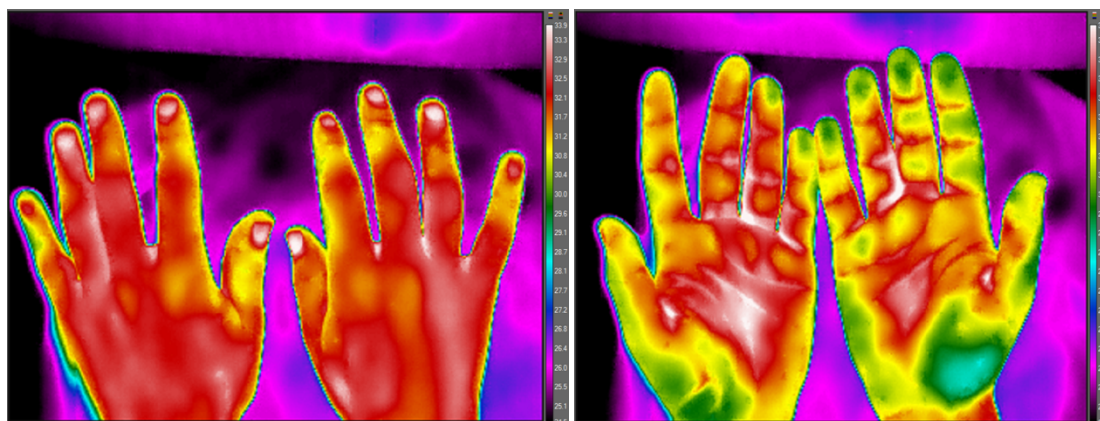


Figura 31: Exemplo de imagem termográfica do dorso (esquerda) e superfície palmar (direita).

Da análise às imagens termográficas verifica-se que, para o caso do exemplo apresentado, o dorso das mãos apresenta temperaturas mais elevadas quando comparado com os valores de temperatura da superfície palmar. Também é notório que o dorso da mão direita apresenta temperaturas ligeiramente superiores ao dorso da mão esquerda. No caso da superfície palmar verifica-se que a esquerda apresenta temperaturas mais elevadas do que a direita. Tal facto é perceptível visualmente pela presença de uma maior área de cor branca e vermelha.

Uma análise global às imagens termográficas de todos os voluntários mostrou que não existe um padrão de variação da temperatura entre o dorso e a superfície palmar sendo esta variação específica em cada um dos voluntários. De seguida apresenta-se a análise estatística aos resultados globais obtidos.

4.4.2. Análise Estatística

Sabe-se que, através do Teorema do Limite Central, para amostras maiores que 30 ($n \geq 30$), a distribuição de médias amostrais tende a uma distribuição normal (Margalho, 2015). Da Figura 32 à Figura 41 são apresentados os resultados estatísticos obtidos, considerando as diferenças da temperatura em cada um dos membros da mão, de todos os voluntários no estudo.

Registo da temperatura do dorso da mão direita

A Figura 32 e a Figura 33 correspondem, respetivamente, à diferença da temperatura máxima e mínima que ocorreu no dorso da mão direita. Da análise à Figura 32, verifica-se uma assimetria negativa em todos os dígitos dado que, a mediana, representada pela linha, apresenta valores próximos do 3º quartil. O dígito mindinho apresenta uma maior amplitude interquartílica contrariamente ao dígito do indicador. Por sua vez, a média mais alta é obtida no dígito polegar, o qual atinge um valor de 32.46, e menor no mindinho, com 31.11. Relativamente à amplitude de dados, o máximo é obtido pelo dígito polegar, com um valor de 37.10 e o mínimo é atingido com um valor de 23.40. Relativamente à diferença da temperatura mínima no dorso da mão direita (Figura 33) verifica-se uma assimetria acentuada em todos os dígitos à exceção do polegar, o qual revela uma simetria com mediana de 29.00. A maior amplitude de dados ocorre no dígito do polegar, no qual é atingida a média mais alta.

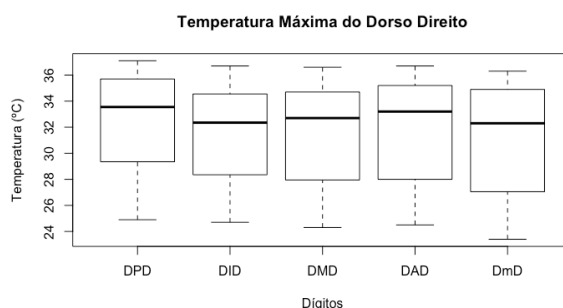


Figura 32: Registo da temperatura máxima no dorso da mão direita.

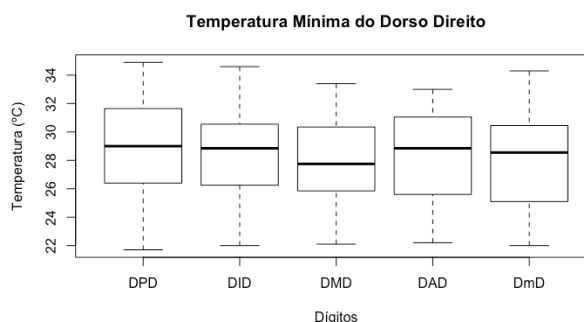


Figura 33: Registo da temperatura mínima no dorso da mão direita.

Varição da temperatura do dorso da mão esquerda

A Figura 34 e Figura 35 correspondem, respetivamente à variação da temperatura máxima e mínima, registadas no dorso da mão esquerda. De forma análoga à diferença da temperatura máxima do dorso direito (Figura 32), ocorre uma assimetria negativa em todos os dígitos. Contudo, a amplitude de dados é muito semelhante sendo que, a média mais alta é atingida no dígito polegar e a mais baixa no dígito mindinho. Observa-se que a mediana, dos dígitos indicador e anelar, é igual e mais elevada no dígito do polegar. Também a amplitude interquartílica é muito semelhante em todos os dígitos, o que mostra uma diferença de dados idêntica. Relativamente à diferença da temperatura mínima no dorso da mão esquerda (Figura 35) ocorre uma maior dispersão do valor da mediana sendo que o máximo se encontra no dígito anelar, com um valor de 29.75, e o mínimo de 27.75 no dígito indicador. Embora muito semelhante entre todos os dígitos, a média mais alta é obtida no dígito polegar com 28.79 e, menor, no dígito indicador com um valor de 27.77. Ainda da análise à Figura 35, verifica-se que ocorre uma simetria no dígito indicador, contrariamente aos restantes dígitos que revelam uma assimetria, maioritariamente, negativa.

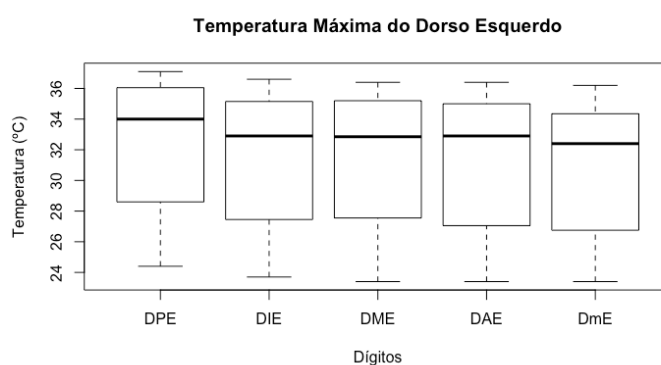


Figura 34: Registo da temperatura máxima no dorso da mão esquerda.

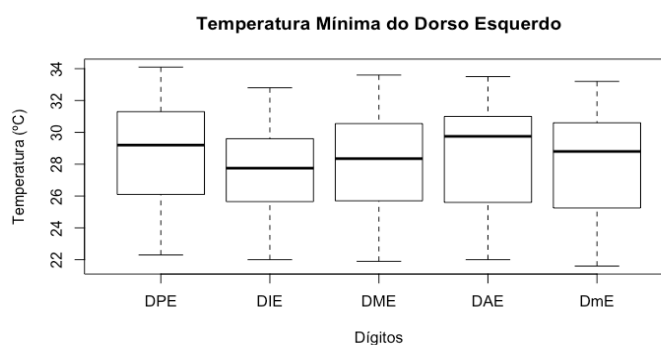


Figura 35: Registo da temperatura mínima no dorso da mão esquerda.

Variação da temperatura da superfície palmar direita

A Figura 36 e a Figura 37 correspondem, respetivamente, à diferença da temperatura máxima e mínima que ocorreu na superfície palmar da mão direita. A Figura 36 mostra que os dígitos apresentam uma amplitude de dados maior, quando comparados com os músculos palmares. A maior amplitude encontra-se no dígito indicador e este apresenta a mediana e média inferior aos restantes dígitos, com valor de 30.60 e 22.90, respetivamente. Contudo, tanto a mediana como a média atinge valores superiores nos músculos palmares, essencialmente no músculo hipotenar. Neste caso, verifica-se a existência de um *outlier*, isto é, um valor afastado das restantes observações. A existência de *outliers*, poderá estar associada a erros de medição ou à variabilidade dos elementos da população. À semelhança dos resultados anteriores, os músculos palmares apresentam mediana e média superiores aos dígitos. No entanto, a sua amplitude de dados é menor e verifica-se a existência de um *outlier* no músculo tenar. A amplitude de dados é maior no dígito indicador e anelar, com mínimos de 21.50 e 21.70 e máximos de 33.70 e 33.60. Da análise à Figura 37, verifica-se também a existência de assimetria em todos os dígitos e músculos palmares.

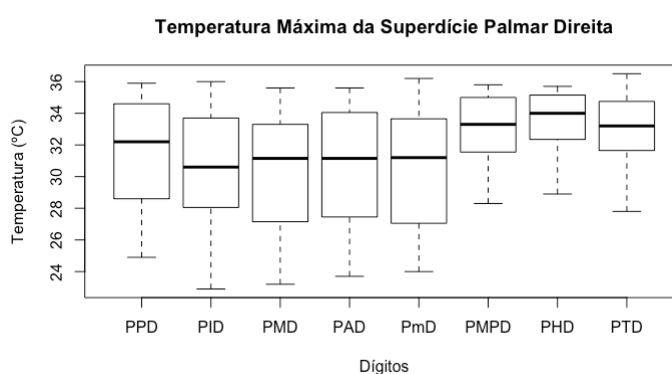


Figura 36: Registo da temperatura máxima da superfície palmar da mão direita.

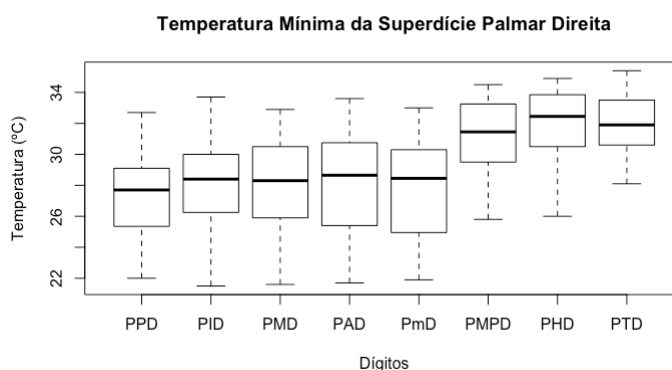


Figura 37: Registo da temperatura mínima da superfície palmar da mão direita.

Varição da temperatura da superfície palmar esquerda

A Figura 38 e a Figura 39 correspondem, respetivamente à diferença da temperatura máxima e mínima que ocorreu na superfície palmar da mão esquerda. Relativamente à diferença da temperatura máxima da superfície palmar da mão esquerda (Figura 38), verifica-se que os músculos palmares revelam médias mais elevadas bem como uma amplitude interquartílica e dispersão de dados menores. O mindinho é o dígito com maior amplitude de dados e o polegar com menor amplitude. Relativamente à simetria, todos apresentam assimetria positiva, uma vez que a mediana se encontra próxima do terceiro quartil. A Figura 39 mostra que a diferença da temperatura mínima apresenta um comportamento semelhante à diferença da temperatura máxima, com mediana superior nos músculos palmares e menores nos dígitos polegar e indicador. Entre os dígitos, o indicador e anelar apresentam uma amplitude de dados com maior dispersão e o anelar e mindinho com amplitude interquartílica maior.

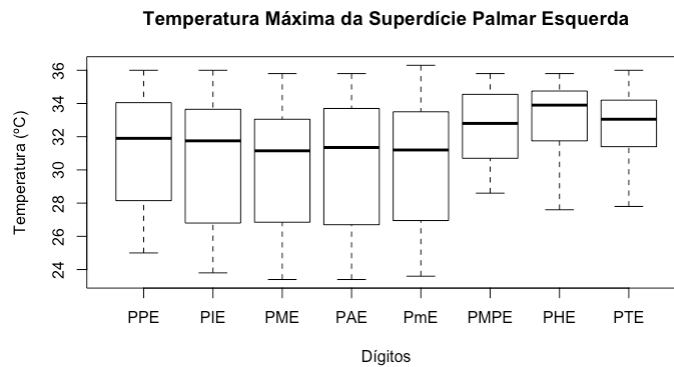


Figura 38: Registo da temperatura máxima da superfície palmar da mão esquerda.

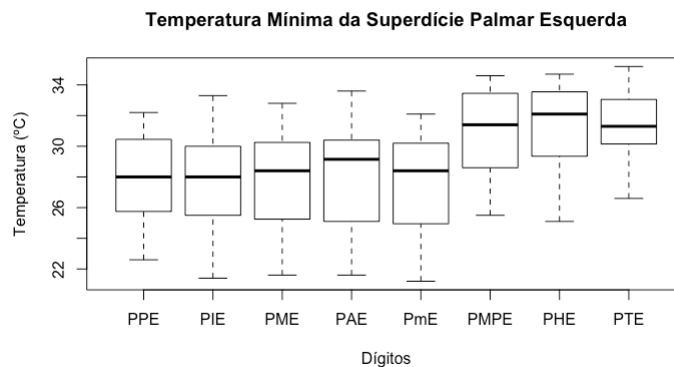


Figura 39: Registo da temperatura mínima da superfície palmar da mão esquerda.

De forma a avaliar a normalidade das observações foi efetuado um teste de hipóteses às observações, tendo em conta as seguintes hipóteses nula e alternativa:

$$H_0 = \text{Não ocorre variação da temperatura entre as mãos}; \quad (6)$$

$$H_1 = \text{Ocorre variação da temperatura entre as mão.} \quad (7)$$

Um teste de hipóteses permite tomar uma decisão, aceitar ou rejeitar a hipótese nula H_0 (6), entre duas ou mais hipóteses – hipótese nula H_0 ou hipótese alternativa H_1 (7). Por meio do teste de hipóteses é possível determinar os resultados que podem levar à rejeição da hipótese nula H_0 a um nível de significância pré-definido.

Para concluir acerca da normalidade de uma amostra, o p^{valor} tem de ser maior ou igual ao nível de significância, isto é, $p^{valor} = \alpha$. Define-se p^{valor} como a probabilidade de se observar um valor maior ou igual ao valor obtido. Por sua vez, o nível de significância corresponde à discrepância de uma hipótese estatística em relação aos dados observados. Os valores mais comuns para o nível de significância são 10%, 5% e 1%. Para o presente estudo foi considerado níveis de significância de 5%.

Com o intuito de avaliar a diferença de temperatura entre os dorsos e as superfícies palmares, foi efetuado uma análise estatística para ambos, considerando os valores médios de temperatura máxima e mínima registada nas regiões de interesse, com representação dos resultados através de *boxplots*. Os *boxplots* fornecem informações relativas à localização, dispersão, assimetria, amplitude e *outliers*. De um modo geral, verifica-se que ocorre maior diferença de dados no dorso esquerdo assim como maior amplitude interquartílica com assimetria negativa (Figura 40). A mediana, que indica o centro da distribuição de valores, é ligeiramente mais elevada no dorso esquerdo. Através da análise estatística aplicada, obteve-se um p^{valor} de 0.89 para um nível de significância de 5%. Assim, existe 89% de probabilidade de a temperatura em ambas as mãos não atingirem a mesma gama de valores máximos. Nos registos da temperatura mínima, obteve-se um p^{valor} de 0.98, rejeitando-se a hipótese nula. Neste caso verifica-se que as medianas apresentam valores muito próximos, embora a amplitude de dados e interquartílica seja maior no dorso direito em comparação com o dorso esquerdo.

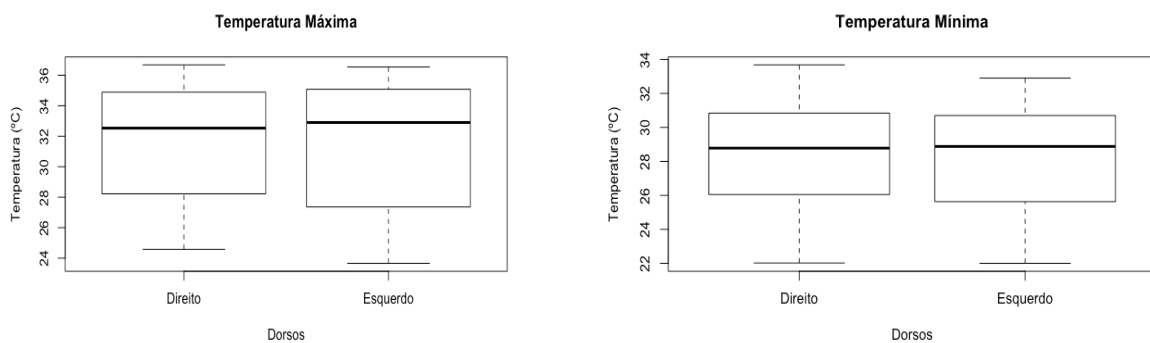


Figura 40: Comparação da diferença da temperatura máxima e mínima entre dorsos.

Relativamente à superfície palmar, os registos diferença da temperatura máxima e mínima entre as superfícies palmares são apresentados na Figura 41. Observam-se amplitudes de dados semelhantes no caso da temperatura máxima, e mediana superior na superfície palmar esquerda. Com diferenças na amplitude interquartílica e assimetria negativa, resulta um p^{valor} de 0.75 e 0.73 para a temperatura máxima e mínima, respetivamente.

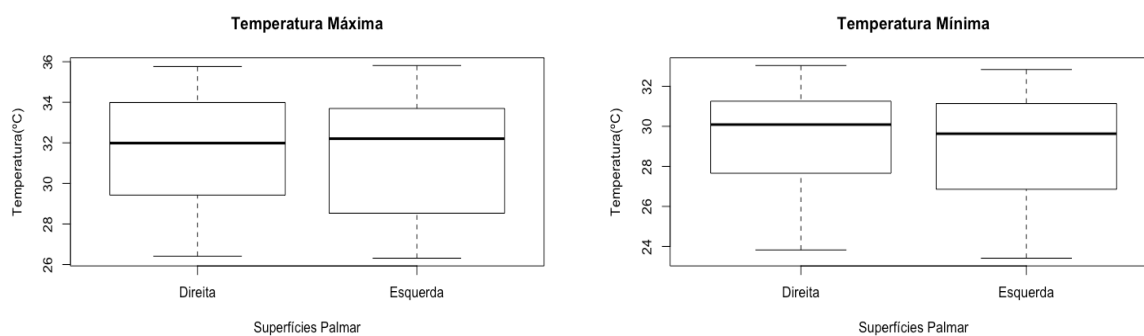


Figura 41: Comparação da diferença da temperatura máxima e mínima entre superfícies palmares.

4.5. Conclusões

Uma análise global aos resultados obtidos, em particular a partir da observação dos gráficos estatísticos, permite retirar algumas conclusões, que se apresentam:

- Genericamente, o polegar é o dedo que apresenta a média mais elevada de temperatura máxima e mínima quando comparado com os restantes dedos;
- Em termos gerais, o mindinho do dorso direito e o anelar do dorso esquerdo apresentam uma média de temperatura máxima mais baixa em relação aos restantes dedos;
- Relativamente à temperatura mínima de ambos os dorsos, o dedo mindinho do dorso direito e o indicador do dorso esquerdo revelam, de um modo geral, médias de temperatura mais baixas;
- Da análise à superfície palmar direita e esquerda, as zonas dos músculos hipotenar e tenar destacam-se com média mais elevada nas temperaturas, sendo que a superfície palmar direita apresenta valores superiores à superfície palmar esquerda. Os dedos médios são os que apresentam médias de temperatura mais baixas;
- À semelhança do ponto anterior, também na superfície palmar esquerda os músculos hipotenar e tenar apresentam média de temperatura mínima mais elevada. Por sua vez, o polegar da superfície palmar direita e o mindinho da superfície palmar esquerda apresentam temperatura mínima mais baixa.

5. Termografia Orofacial

Neste capítulo apresenta-se um trabalho de investigação envolvendo a aplicação da termografia no contexto da biomecânica orofacial. O trabalho envolve o estudo de mapas de temperatura em zonas específicas da face quando são aplicados estímulos baseados em terapia do frio (*Ice Therapy*), acompanhando a recuperação térmica nessas zonas. Este tipo de terapia está normalmente associado à dor orofacial, tendo-se entendido como importante introduzir alguns conceitos associados que lhe estão associados.

5.1. Dor Orofacial

A dor orofacial pode ser definida como a dor associada a diferentes estruturas da cabeça e pescoço, bem como da cavidade oral. Poderá atingir a pele, vasos sanguíneos, dentes, estruturas ósseas, glândulas ou músculos que enviam impulsos nervosos através do nervo trigêmeo, de forma a serem interpretados ao nível das estruturas superiores no cérebro, responsáveis pela modelação da dor (Clemente, *et al.*, 2016).

A sintomatologia mais frequente ao nível da dor orofacial, está associada à articulação temporomandibular (ATM) e aos músculos de mastigação. A Dor Orofacial poderá configurar um distúrbio temporomandibular (DTM), quando afeta os músculos da mastigação, a ATM e as estruturas que lhes estão associadas. Neste caso, a dor situa-se na zona pré-auricular e nos músculos do Complexo Crâneo-Cérvico-Mandibular (CCCM). Por sua vez, o CCCM é constituído pelas estruturas ósseas, pelos músculos da mastigação e posturais, pelos dentes, vasos sanguíneos, articulações e ligamentos, glândulas e pelo sistema nervoso central e periférico (Clemente, *et al.*, 2016).

A síndrome miofascial (SMF) consiste numa síndrome dolorosa, aguda ou crónica, local e/ou irradiada, associada a pontos de gatilho os quais podem encontrar-se ativos (palpáveis, sensíveis à estimulação) ou latentes (palpável mas não originando dor irradiada). Um ponto de gatilho, também conhecido como *trigger point*, consiste um foco de hiperirritabilidade num músculo ou estrutura esquelética que, à palpação, apresenta um nódulo causado por uma banda muscular tensa. A sua estimulação pode originar uma contração local das fibras musculares da banda tensa e/ou uma contração muscular referida de outras fibras musculares (Branco, 2016). A Figura 42 ilustra o complexo do ponto de gatilho.

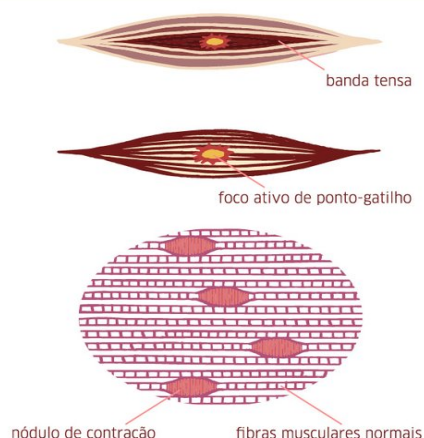


Figura 42: Complexo do ponto de gatilho (Hong Jin Pai & Associados, 2016).

Além das situações de dor atrás descritas e com um enquadramento de sintomatologia crônica, importa referir as situações de dor que envolvem casos específicos e pontuais, como por exemplo os tratamentos de cáries dentárias, a existência de abscessos, a extração do terceiro molar e existência de trismos.

Dos músculos da cabeça e do pescoço com maior relevância para a possibilidade de implementação da termografia destacam-se os músculos elevadores, músculos depressores e os músculos posturais. Neste estudo, foram considerados os músculos elevadores, nomeadamente o músculo temporal e o músculo masséter. O músculo temporal surge da fossa temporal, uma grande depressão no lado do crânio e a fáscia temporal que cobre completamente a superfície do músculo. Daí, o músculo desce através do espaço entre o arco zigomático e o crânio, forma um tendão grosso e insere o processo coronoide da mandíbula. O músculo temporal é innervado pelos nervos temporais profundos que se ramificam do nervo mandibular (Karunaharamoorthy, s.d.). A Figura 43 mostra a localização do músculo temporal, fossa temporal e coronoide da mandíbula.

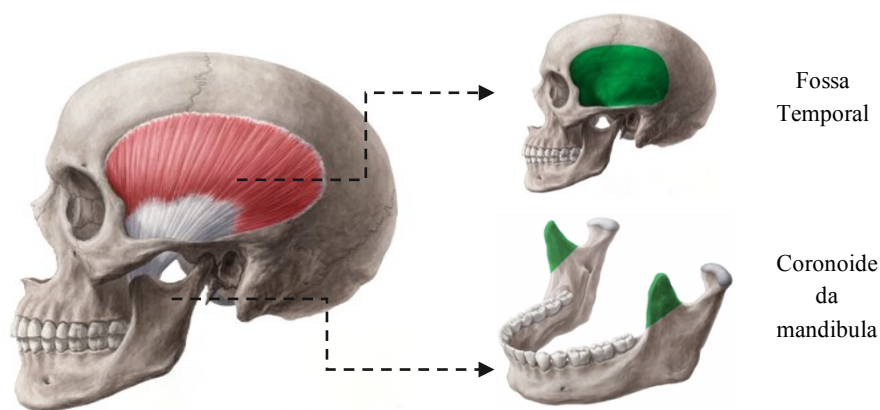


Figura 43: Identificação das porções do músculo temporal (Adaptado de (3D Anatomy for the artist life)).

O músculo masséter tem origem ao nível da superfície lateral do ramo da mandíbula desde a chanfradura mandibular até ao ângulo mandibular. Este pode ser dividido numa porção superficial e outra profunda (Clemente, et al., 2016). A Figura 44 mostra a identificação das porções do músculo masséter.

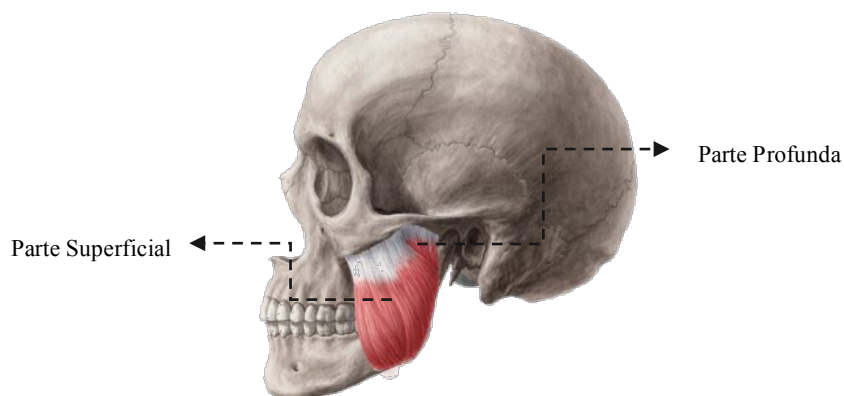


Figura 44: Identificação das porções do músculo masséter (3D Anatomy for the artist life).

5.2. Objetivos do Estudo

A termografia da face possibilita a visualização da variação da temperatura na pele, região do músculo temporal, responsável pela elevação e retração da mandíbula, e músculo masséter responsável pela elevação (occlusão) da mandíbula (Clemente, et al., 2016). Apesar da ampla aceitação da tecnologia infravermelha, poucos são os trabalhos publicados, envolvendo a demonstração da sua aplicabilidade no âmbito do tratamento da dor orofacial. Este estudo pretende deixar uma contribuição neste campo do conhecimento técnico-científico. Assim, enquadrando a demonstração da utilidade da termografia no contexto da biomecânica orofacial, o trabalho teve como objetivo identificar as oscilações da temperatura da superfície da pele em ambas as faces do rosto quando aplicado um estímulo com gelo, e quantificar os tempos de recuperação da temperatura inicial nas zonas em observação, após a imposição do estímulo.

A escolha do estímulo com gelo, *Ice Therapy*, assentou no facto de ser uma metodologia muito implementada em diversas situações envolvendo a dor orofacial. Pese embora esta metodologia seja muito usada, não existem estudos publicados relativamente aos benefícios da introdução de um estímulo adicional na recuperação da temperatura. Assim, o estudo desenvolvido teve como objetivo ser uma contribuição no contexto da biomecânica orofacial, sustentando os benefícios da metodologia *Ice Therapy* aliada à implementação da tecnologia termográfica.

5.3. Metodologia Experimental e Protocolo de Aquisição de Dados

A componente experimental foi implementada no LBA – Laboratório de Biomecânica Aplicada do Superior de Engenharia de Coimbra. O estudo envolveu a participação de 15 voluntários, 6 do género feminino e 9 do género masculino, com idade média de 25 anos e massa corporal entre os 58 kg e os 100 kg.

Previamente à sua realização, os voluntários foram familiarizados com o estudo tendo sido esclarecidos dos objetivos do trabalho, assim como todo o procedimento experimental. Desta forma, todos os indivíduos envolvidos participaram de forma voluntária dando o seu consentimento livre, esclarecido e informado, por escrito, com autorização para a participação no estudo e recolha de dados (Apêndice 9.1). Complementarmente, cada voluntário respondeu a um questionário de suporte, de modo a obter uma melhor caracterização do grupo de voluntários (Apêndice 9.2). Da análise ao questionário, verificou-se que 93% dos voluntários conhecem o significado de termografia, 7% possuem problemas associados à pele, 20% possuem hábitos tabágicos e 73% consomem, regularmente, estimulantes.

A aquisição do filme termográfico foi efetuada com recurso à câmara termográfica da marca *FLIR* modelo T430sc, descrito no capítulo 2.3.1. Fatores como a localização, preparação da sala de teste, preparação do equipamento bem como a preparação dos voluntários, podem afetar a credibilidade dos resultados a obter, sendo necessário estabelecer requisitos prévios. Tendo em conta a importância destes aspetos, a montagem experimental para a implementação dos testes e recolha de dados foi feita numa sala fechada, climatizada a uma temperatura ambiente de 22°C, com humidade relativa inferior a 50%, ausência de luminosidade incidente sobre os voluntários assim como de geradores de calor.

Também no sentido de garantir dados fidedignos, foram tidos em consideração alguns hábitos, influenciáveis e não controláveis, que poderiam provocar oscilações na temperatura da pele, tais como a utilização de cosméticos, o consumo de álcool ou tabaco e o consumo de substâncias estimulantes (caféina, chocolate e bebidas energéticas). Deste modo, foi solicitado aos voluntários que no dia de execução dos testes experimentais se inibissem de qualquer uma destas situações. Além disso, nos voluntários do género feminino, durante a aquisição de dados, o cabelo foi preso com elástico de forma a não interferir nas regiões de interesse para aquisição de temperatura, assim como a remoção de brincos. Nos voluntários do género masculino foi garantida a remoção da barba no dia da execução dos testes experimentais.

Um outro aspeto relevante tem a ver com a postura do voluntário, que deve ser o mais estática possível ao longo do processo de aquisição de dados. Assim, de modo a garantir a estabilidade do voluntário, foi utilizado como apoio da cabeça um capacete de cor preta, não brilhante para reduzir eventuais reflexões de luz, fixo a um tripé lateral ao voluntário. Com recurso a um suporte, a câmara termográfica foi posicionada a uma distância de 2 metros do voluntário num

ângulo de 90°, com a lente da câmara paralela à região em estudo. Tendo em conta que o fundo pode alterar a cor da imagem, foi implementada uma “gaiola envolvente” ao voluntário, coberta com um pano preto opaco. A Figura 45 mostra o *setup* experimental implementado na sala. A câmara termográfica estava conectada a um computador fixo, colocado numa secretária.



Figura 45: Setup experimental.

Para garantir a adequada aplicação do gelo, foi desenvolvido um componente mecânico, com recurso ao software *SolidWorks*. A Figura 46 apresenta o modelo 3D e uma seção do recipiente do gelo. Os componentes foram prototipados através de tecnologia FDM – *Fused Deposition Modeling*, com recurso a um processo de fabrico aditivo com uma impressora 3D, *CubePro* da marca *3DSystems*. O material escolhido para impressão foi o PLA – Ácido Poliático, um polímero biodegradável obtido a partir do ácido láctico fermentado a partir de culturas, como por exemplo o milho ou raízes de mandioca, indicado para a aplicação. O componente permite um volume de gelo de 40 cm³ e uma área de contacto de 34 cm². Na preparação para utilização em teste, o componente é cheio com água e colocado num congelador durante 12 horas.

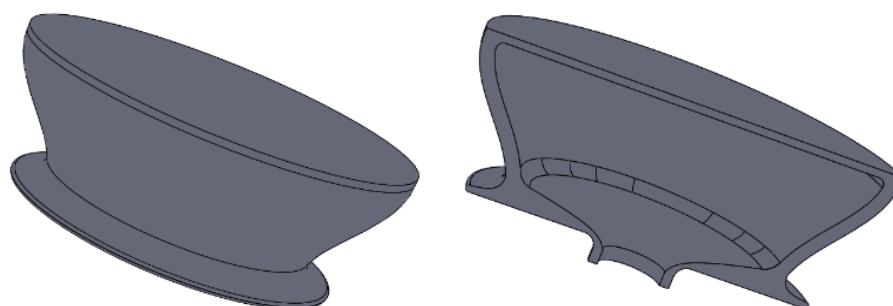


Figura 46: Modelo 3D do recipiente de gelo utilizado para aplicação de gelo.

O protocolo seguido para a recolha de dados em cada voluntário foi o que se descreve.

Previamente à aquisição de dados, os voluntários foram instruídos a permanecer serenamente 15 minutos na sala de testes, de modo a garantir a habituação ao ambiente e estabelecer o equilíbrio adequado da pressão sanguínea e da temperatura da pele. De modo a uniformizar procedimentos, todos os voluntários realizaram os testes no período da tarde.

Após o período de ambientação, o voluntário foi posicionado, sentado numa posição de conforto e com o capacete colocado para estabilização da cabeça. Para cada voluntário, os dados foram adquiridos em duas etapas, primeiro na hemiface direita e, posteriormente, na hemiface esquerda de acordo com o protocolo que se apresenta:

- a) Previamente à adição do estímulo do gelo, a temperatura da pele da hemiface direita é registada durante 1 minuto, com particular foco na região do músculo masséter (Figura 47 a));
- b) Ao longo de 5 minutos, o voluntário mantém o recipiente com gelo em contacto com a hemiface na ROI definida (Figura 47 b));
- c) Após a aplicação do gelo, a temperatura da pele na hemiface é registada, sendo monitorizada em tempo real a temperatura na ROI. O registo é mantido até atingir a temperatura inicial na zona do músculo masséter (Figura 47 c)), obtendo-se assim o tempo necessário para restabelecer a temperatura inicial.

A Figura 47 ilustra, para um voluntário, as etapas correspondentes ao momento inicial (a), momento da aplicação do gelo na ROI (b) e momento em que o voluntário atingiu a temperatura inicial (c).

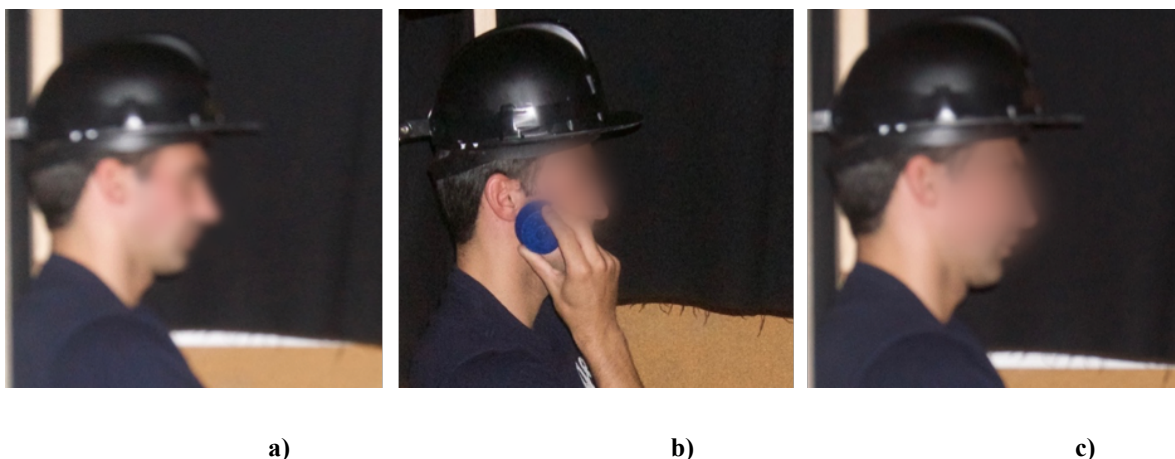


Figura 47: Aplicação do gelo na face direita: a) momento inicial; b) aplicação do gelo na ROI; c) momento em que foi atingida a temperatura inicial

- d) O voluntário permanece serenamente na sala durante 30 minutos de forma a promover nova estabilização;

5.4.1. Imagens Termográficas – Exemplo para um Voluntário

A Figura 49 e a Figura 50 apresentam um conjunto de imagens termográficas, da face direita e esquerda, obtidas a partir do filme termográfico, para um voluntário escolhido aleatoriamente. As imagens termográficas correspondem a 3 momentos chave, nomeadamente o momento inicial, antes da aplicação do gelo, o momento imediatamente após a retirada do gelo e o momento em que são restabelecidos os padrões iniciais de temperatura na região em estudo. A análise das imagens termográficas ilustra a variação da temperatura, quando aplicados os diferentes estímulos, através da mudança de cor na região do músculo masséter.

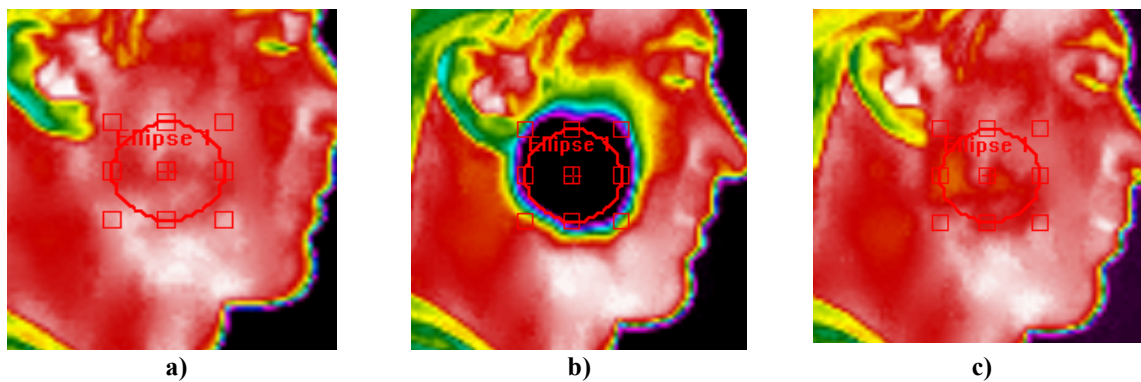


Figura 49: Aplicação do gelo na face direita: a) momento inicial; b) aplicação do gelo na ROI seguido do processo de mastigação da pastilha elástica; c) momento em que foi atingida a temperatura inicial.

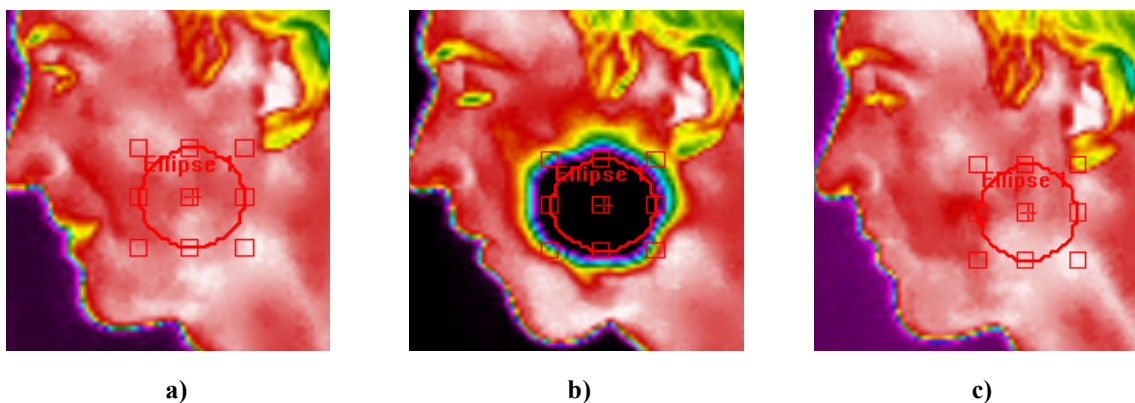


Figura 50: Aplicação do gelo na face esquerda: a) momento inicial; b) aplicação do gelo na ROI seguido do processo de mastigação da pastilha elástica; c) momento em que foi atingida a temperatura inicial.

5.4.2. Análise Descritiva

Uma questão importante do estudo envolve a quantificação do tempo necessário para recuperar a temperatura inicial na região do músculo masséter. Esta avaliação pode ser identificada na Figura 51 com base na temperatura máxima e na Figura 52 com base na temperatura mínima, ambas na mesma região de interesse, comparando a ausência de estímulo adicional com a aplicação de estímulo (pastilha elástica). Nos registos das figuras os voluntários 1, 2, 4, 10, 11, 12, 13, 14 e 15 são do género masculino e os voluntários 3, 5, 6, 7, 8 e 9 são do género feminino.

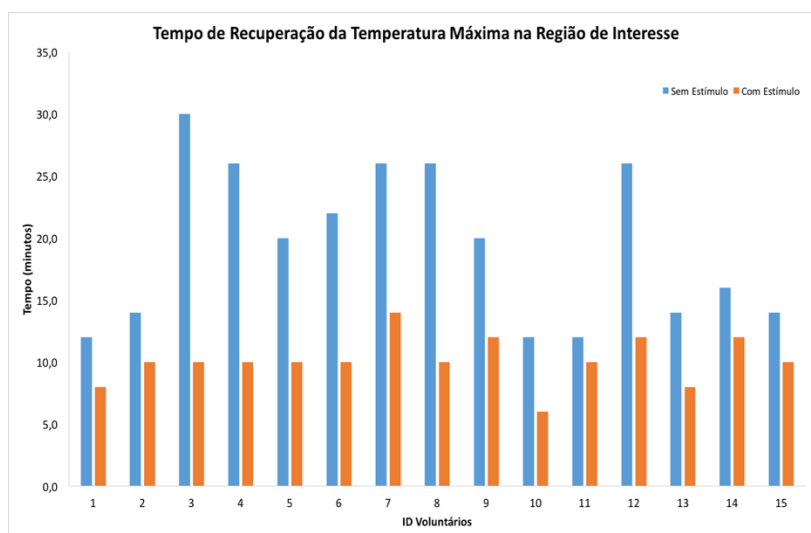


Figura 51: Tempo de recuperação da temperatura máxima inicial na região em estudo para cada voluntário, com e sem a aplicação de estímulo adicional.

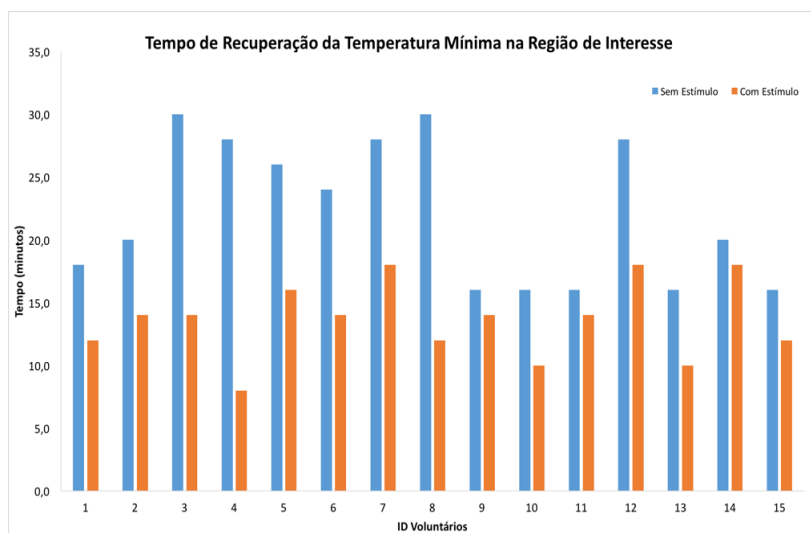


Figura 52: Tempo de recuperação da temperatura mínima inicial na região em estudo para cada voluntário, com e sem a aplicação de estímulo adicional.

Uma análise aos dados dos gráficos apresentados permite observar que a adição do estímulo adicional com a pastilha elástica reduz substancialmente os tempos de recuperação da temperatura inicial em todos os voluntários. Em alguns voluntários, o tempo necessário para a recuperação das temperaturas com a introdução do estímulo passou para metade do tempo necessário para restabelecer a temperatura sem qualquer estímulo adicional. O tempo médio de recuperação da temperatura máxima na região em estudo foi de 19.20 sem adição de estímulo com pastilha elástica e de 9.87 quando o estímulo é introduzido. No caso da temperatura mínima, o tempo médio foi de 21.87 sem adição de estímulo e 13.73 com a introdução do estímulo.

A observação dos resultados transcritos nos gráficos mostra também que, com exceção dos voluntários 4 e 12, tendencialmente, os voluntários do género masculino recuperam mais rapidamente a temperatura inicial. Esta observação sugere, claramente, uma variação intrasexual nos dados obtidos.

A Tabela 4 apresenta, sob forma de percentagem, a redução comparativa de tempo com a adição do estímulo com pastilha elástica.

Tabela 4: Percentagem de variação da temperatura máxima e mínima.

Voluntários	Género	Variação da Temperatura (%)	
		Máxima	Mínima
1	M	33	33
2	M	29	30
3	F	67	53
4	M	62	71
5	F	50	38
6	F	55	42
7	F	46	36
8	F	62	60
9	F	40	13
10	M	50	38
11	M	17	13
12	M	54	36
13	M	43	38
14	M	25	10
15	M	29	25

Da análise detalhada aos resultados obtidos, é possível estabelecer algumas conclusões, nomeadamente:

- A introdução do estímulo adicional com pastilha elástica conduziu a uma redução média global de 44% no tempo de recuperação da temperatura máxima e de 35% no tempo de recuperação da temperatura mínima;

- Para os voluntários do género feminino, verificou-se uma redução média de 53% no tempo de recuperação da temperatura máxima e de 40% no tempo de recuperação da temperatura mínima;
- Para os voluntários do género masculino, verificou-se uma redução média de 38% no tempo de recuperação da temperatura máxima e de 33% no tempo de recuperação da temperatura mínima.

5.4.3. Análise Estatística

De forma a avaliar a normalidade dos resultados foi efetuado um teste de hipóteses às observações, tendo em conta as seguintes hipóteses nula (8) e alternativa (9):

$$H_0: \mu_{CE} = \mu_{SE} \leftrightarrow \mu_{CE} - \mu_{SE} = 0 \quad (8)$$

$$H_1: \mu_{CE} < \mu_{SE} \leftrightarrow \mu_{CE} - \mu_{SE} > 0 \quad (9)$$

onde H_0 e H_1 indicam a hipótese nula e alternativa, respetivamente, definidas para o teste de hipóteses de médias em que μ_{CE} representa a média para a adição de estímulo e μ_{SE} a média para a ausência de estímulo.

De seguida, é apresentada uma análise estatística global e específica de cada género, com representação dos resultados através de *boxplots*. Os *boxplots* fornecem informações relativas à localização, dispersão, assimetria, amplitude e *outliers*. Para o presente estudo foram considerados níveis de significância de 1% e 5%.

Análise Global – Temperatura Máxima e Temperatura Mínima

Através da função “*shapiro.test*”, teste utilizado para concluir sobre a normalidade da amostra, obteve-se o p^{valor} da condição estabelecida com um nível de significância de $\alpha = 5\%$. A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos estatisticamente com base na temperatura máxima e na temperatura mínima.

Tabela 5: Média, desvio padrão e p^{valor} da análise global.

	Temperatura Máxima		Temperatura Mínima	
	Sem Estímulo	Com Estímulo	Sem Estímulo	Com Estímulo
Média	19.20	10.13	21.87	13.73
Desvio Padrão	6.49	1.92	5.97	3.28
p^{valor}	0.09946		0.4399	

Assim, com um $p^{valor} > 0,05$, rejeita-se a hipótese nula comprovando-se que com estímulo a recuperação da temperatura inicial é mais rápida. Pela Figura 53, pode-se visualizar a diminuição do tempo de recuperação quando um estímulo é aplicado face à ausência de estímulo com registros da temperatura máxima. Verifica-se a existência de 3 *outliers* nas observações com estímulo e uma simetria nas observações sem estímulo. Embora pouco afastados dos restantes resultados, a sua presença pode estar associada a características dos voluntários.

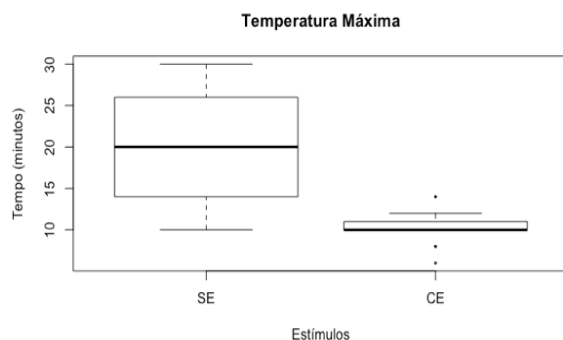


Figura 53: Análise estatística com base na temperatura máxima. Comparação da variação de média: SE - sem aplicação de estímulo; CE - com aplicação de estímulo.

No caso da temperatura mínima, também ocorre uma diminuição do tempo de recuperação da temperatura inicial. Pela análise da Figura 54, verifica-se uma assimetria negativa quando aplicado o estímulo e positiva na ausência de estímulo. Sem a presença de *outliers*, a amplitude de dados e interquartílica é mais acentuada quando nenhum estímulo é aplicado.

Com um $p^{valor} > 0.05$, é rejeitada a hipótese nula comprovando-se, uma vez mais que, quando um estímulo é implementado ocorre uma diminuição do tempo necessário para restabelecer a temperatura inicial na ROI.

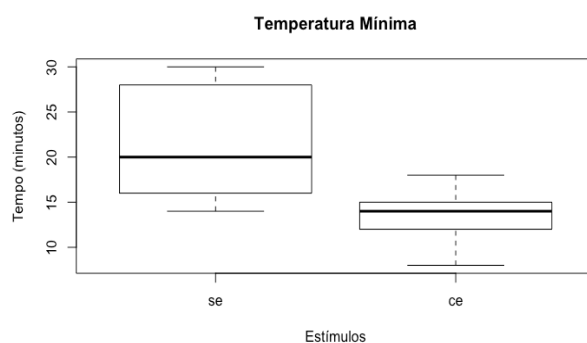


Figura 54: Análise estatística com base na temperatura mínima. Comparação da variação de média: SE – sem aplicação de estímulo; CE – com aplicação de estímulo.

Análise por Género – Temperatura Máxima e Mínima

Com o intuito de clarificar a variação que ocorre para cada género, procedeu-se a uma análise estatística com esta divisão. Assim, a Tabela 6 apresenta os resultados obtidos com base na temperatura máxima e mínima para o género masculino.

Tabela 6: Média, desvio padrão e p^{valor} da análise por género masculino.

	Temperatura Máxima		Temperatura Mínima	
	Sem Estímulo	Com Estímulo	Sem Estímulo	Com Estímulo
Média	16.00	9.56	19.11	13.11
Desvio Padrão	5.92	1.94	5.40	3.89
p^{valor}	0.9992		0.1409	

Obtido um $p^{valor} > 0.05$, para a temperatura máxima, rejeita-se a hipótese nula comprovando-se que com estímulo, a recuperação da temperatura inicial é mais rápida. Pode-se identificar a diminuição do tempo de recuperação quando um estímulo é aplicado face à ausência de estímulo. De modo geral, a amplitude interquartilica e de dados é menor na ausência de estímulo. Com exceção da aplicação de estímulo na temperatura máxima (MCE), o qual apresenta assimetria negativa, os restantes resultados apresentam simetria.

Relativamente à temperatura mínima, considerando um nível de significância de 1%, foi efetuado o teste de *Wilcox* o qual consiste num teste não paramétrico utilizado quando não é possível assumir distribuição normal. Assim, consideram-se como hipótese nula e alternativa:

$$H_0: m_{CE} = m_{SE} \quad (10)$$

$$H_1: m_{CE} < m_{SE} \quad (11)$$

onde H_0 e H_1 indicam a hipótese nula e alternativa, respetivamente, definidas para o teste de hipóteses de medianas em que m_{CE} representa a mediana para a adição de estímulo e m_{SE} a mediana para a ausência de estímulo

Como $p^{valor} > 0.01$, rejeitou-se a hipótese nula comprovando-se assim a redução do tempo para atingir a temperatura inicial. Da análise da Figura 55 observa-se uma maior amplitude de dados quando um estímulo é aplicado e amplitudes interquartilica semelhante entre ambos.

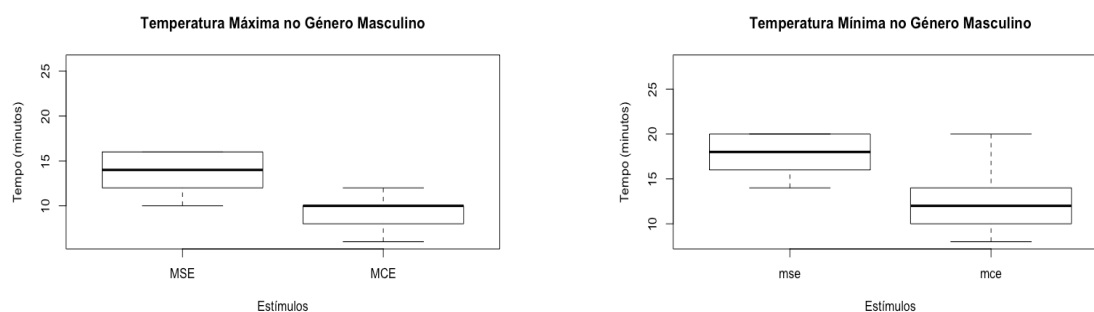


Figura 55: Análise estatística com base na temperatura máxima no género masculino. Comparação da variação de média: MSE – Masculino sem estímulo; MCE – Masculino com estímulo.

De forma análoga, procedeu-se ao tratamento estatístico para o género feminino. Assim, a Tabela 7 apresenta os resultados obtidos com base na temperatura máxima e mínima para o género feminino.

Tabela 7: Média, desvio padrão e p^{valor} da análise por género feminino.

	Temperatura Máxima		Temperatura Mínima	
	Sem Estímulo	Com Estímulo	Sem Estímulo	Com Estímulo
Média	24.00	11.00	25.67	14.67
Desvio Padrão	4.00	1.67	5.28	2.07
p^{valor}	0.9988		0.4177	

Aplicado o “shapiro test” obteve-se, para ambos os testes, um $p^{valor} > 0.05$ o que traduz a rejeição da hipótese nula. Pela análise da Figura 56, verifica-se uma redução acentuada do tempo necessário para a recuperação da temperatura inicial. Em termos de temperatura máxima, ocorre uma assimetria positiva quando é aplicado o estímulo e uma assimetria negativa quando não é aplicado nenhum estímulo bem como uma reduzida dispersão de dados. Ao invés da ausência de estímulo, verifica-se uma assimetria positiva quando aplicado o estímulo.

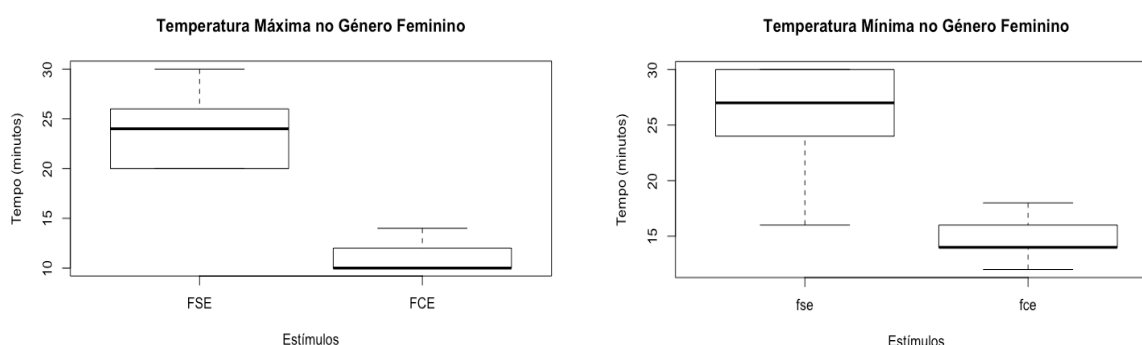


Figura 56: Análise estatística com base na temperatura máxima no género feminino. Comparação da variação de média: FSE – Feminino sem estímulo; FCE – Feminino com estímulo.

À semelhança da análise descritiva efetuada, também a análise estatística revela uma redução do tempo necessário, em ambos os géneros, para restabelecer a temperatura inicial quando um estímulo adicional (pastilha elástica) é introduzido.

No entanto, com base na análise por género, verificou-se que a recuperação da temperatura inicial é mais lenta no género feminino.

5.5. Conclusões

O estudo efetuado com a metodologia aplicada revelou claramente uma diminuição no tempo necessário para restabelecer a temperatura inicial ao implementar o estímulo com a pastilha elástica. Tal facto está inerente ao aumento do recrutamento metabólico do músculo pelo processo de mastigação, pelo aumento da circulação sanguínea no metabolismo muscular bem como pelo efeito neutralizante da própria vascularização, aumentada pela função.

À luz dos resultados obtidos, os tempos de recuperação variam entre os 12 e os 30 minutos para a temperatura máxima e entre 14 a 30 minutos para a temperatura mínima. Tendo em conta que a maioria dos dentistas recomendam tempos de aplicação de gelo pós-cirúrgico de 15 a 20 minutos com tempos de repouso mais baixos, isto é, entre 10 a 15 minutos durante um período de 24 a 48 horas, poderá ser propício manter a temperatura da pele em valores mais baixos por períodos de tempo mais longos. Assim, o efeito anti-inflamatório será mantido durante mais tempo, no entanto, poderá levantar questões de potenciais efeitos iatrogénicos e hipotermia nos tecidos ao manter a temperatura muito inferior aos valores considerados normais. Tal é um facto conhecido dos clínicos, ou seja, a “queimadura” no protocolo pós-gelo da pele. De salientar que, dada a variação intrasexual identificada, o estudo sugere que os tempos para o gelo pós-cirúrgico devem diferir entre o género masculino e o género feminino.

Pode-se afirmar que os resultados obtidos são uma contribuição e um ponto de partida para auxiliar os clínicos quanto aos tempos de terapia pré e pós-cirurgia com gelo.

6. Termografia Aplicada à Reabilitação pós AVC – Caso de Estudo

Outro domínio de aplicação da termografia é a reabilitação de doentes após um Acidente Vascular Cerebral - AVC. Assim, este capítulo remete para a aplicação da tecnologia como meio de diagnóstico precoce e *follow-up* de doentes afetados por AVC.

6.1. Acidente Vascular Cerebral

O Acidente Vascular Cerebral, vulgarmente conhecido por AVC, ocorre devido à redução da circulação sanguínea no cérebro e pode ser caracterizado em isquémico e hemorrágico (Figura 57). Como fatores de risco que contribuem para a ocorrência de AVC's, ressaltam a hipertensão arterial, o colesterol elevado, o consumo de tabaco e álcool, a diabetes, o histórico familiar, a obesidade e o sedentarismo.

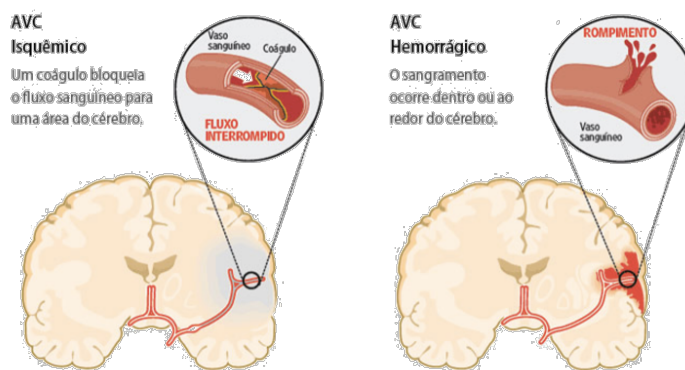


Figura 57: Classificação de acidente vascular cerebral (Rafaela, 2016).

O tipo de AVC mais frequente é o isquémico e pode ser provocado por uma trombose cerebral quando ocorre a formação de um coágulo de sangue numa artéria principal do cérebro, por uma embolia cerebral quando o bloqueio causado pelo coágulo se forma num vaso sanguíneo noutra parte do corpo e é levado pela corrente sanguínea ou ainda pelo bloqueio nos pequenos vasos sanguíneos da parte mais profunda do cérebro (Associação AVC - Acidentes Vasculares Cerebrais, 2009). Um AVC isquémico pode ser subdividido em Ataque Isquémico Transitório (AIT), também denominado por Mini-AVC, caracterizado pela obstrução passageira num dos vasos sanguíneos e em AVC hemorrágico, causado por uma hemorragia intracerebral, quando um vaso sanguíneo rebenta ou sangra para a área entre o cérebro e o crânio (Rafaela, 2016).

As principais sequelas de um AVC são a paralisia e as alterações da motricidade. A paralisia é uma das disfunções mais comuns no pós-AVC, e pode ser total, sendo designada por hemiplegia, ou parcial, designada por hemiparesia. Estas disfunções ocorrem no lado contra lateral à região do cérebro que é afetada (Figura 58).

Também as alterações sensoriais, alterações da comunicação, alterações cognitivas e distúrbios emocionais representam consequências de um AVC (Silva E. J., 2010).

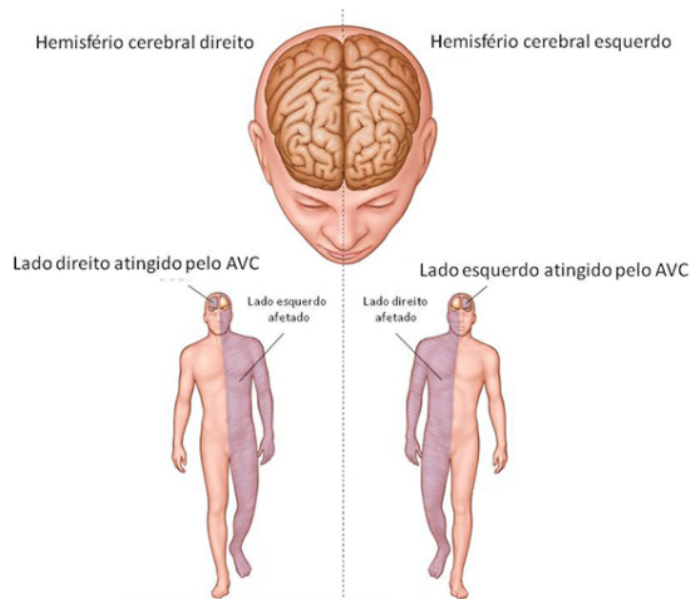


Figura 58: Área corporal afetada de acordo com o local do acidente vascular cerebral
(<https://saudavelefeliz.com/avc-e-a-idade-035/>, 2017).

6.2. Objetivos do Estudo

As alterações que um AVC provoca distinguem a capacidade funcional associada às duas partes do corpo. As sequelas que provocam têm influência em diversos aspetos, sendo a temperatura do corpo também alterada nas regiões afetadas pelas lesões. O processo de reabilitação do paciente conduzirá à recuperação destas funcionalidades, podendo a temperatura da pele ser um dos indicadores correspondentes ao processo de recuperação. Assim, tendo em conta este aspeto, a monitorização dos mapas térmicos em pacientes pós AVC podem ser uma ferramenta importante no contexto da avaliação da recuperação dos pacientes. Neste campo, a termografia poderá ser uma ferramenta de grande utilidade como instrumento de apoio para esse acompanhamento. Assim, este estudo teve como objetivo aplicar a termografia como ferramenta de apoio a uma avaliação da recuperação pós-AVC. Definindo um protocolo de aquisição de dados, o estudo envolve o acompanhamento de uma paciente, voluntária, comparando-se os mapas de temperatura nas regiões afetadas e não afetadas correspondentes aos vários momentos de avaliação no período de recuperação da paciente.

6.3. Metodologia Experimental e Aquisição de Dados

A componente experimental do estudo decorreu no Centro de Medicina de Reabilitação da Região Centro – Hospital Rovisco Pais, parceiro da implementação deste estudo, envolvendo a colaboração direta de uma equipa médica do Hospital.

O estudo envolveu uma voluntária, do género feminino, com idade de 38 anos, massa corporal de 64,8 kg, e em processo inicial de recuperação de AVC isquémico estriado-capsular esquerdo com hemiparesia direita sequelar e hemi-hipostesia direita, incluindo a face. Todos os procedimentos legais, assim como a escolha da voluntária foram da responsabilidade da equipa médica, tendo sido assinado um consentimento livre, esclarecido e informado. A aquisição de dados foi sempre supervisionada pela equipa médica envolvida no estudo.

A aquisição dos dados foi feita em três sessões ao longo do processo de recuperação da paciente, interna do Hospital Rovisco Pais, e por isso com procedimentos de reabilitação bem definidos. Assim, a primeira aquisição de dados foi executada 55 dias após a ocorrência do AVC e 38 dias após o início do seu processo de recuperação (Sessão 1). A segunda aquisição de dados foi feita 74 dias pós AVC (Sessão 2) e a terceira aquisição de dados 101 dias pós AVC (Sessão 3).

O protocolo de aquisição de dados foi definido de modo a minimizar o desconforto da voluntária, tendo sido aprovado pela equipa médica envolvida no estudo. A aquisição de filme termográfico foi feita com recurso à câmara termográfica da marca *FLIR*, e modelo T430sc, cujas características foram expostas no capítulo 2.3.1

A componente experimental foi realizada numa sala isenta de luminosidade externa e com temperatura ambiente controlada. Reunidas as condições ambientais necessárias à realização do teste termográfico, previamente a cada momento de aquisição, foi garantido um período de aclimatização da voluntária às condições da sala durante 10 minutos. Após o período de aclimatização, teve início a recolha do filme termográfico. O protocolo de aquisição considera o posicionamento da voluntária em pé, sentada numa cadeira com as pernas recolhidas e sentada na cadeira com as pernas em posição alongada. Em cada aquisição, a câmara foi posicionada a 2 metros da zona de interesse na medição, sendo registado 1 minuto de filme para cada região de interesse - ROI. O protocolo sequencial de recolha de dados é descrito de seguida.

A primeira recolha de mapa térmico foi executada na face. Foram definidas três ROI's da face, conforme apresentado na Figura 59. Com a voluntária na posição de sentada na cadeira, em posição confortável, o filme foi registado em ambos os lados.

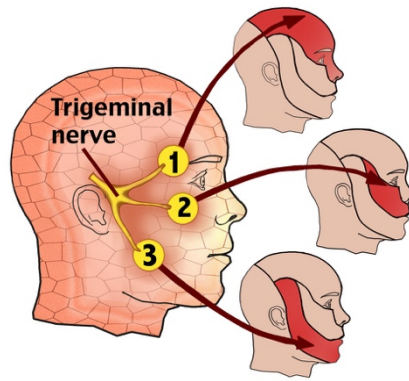


Figura 59: Identificação das regiões de interesse na face (Multiple Sclerosis (MS) Symptoms: Trigeminal Neuralgia (Facial Pain), s.d.).

A etapa seguinte passou pela aquisição do filme termográfico na zona do braço, considerando como ROI's o ombro e o cotovelo. A Figura 60 ilustra o momento de aquisição do filme termográfico do hemitórax esquerdo.

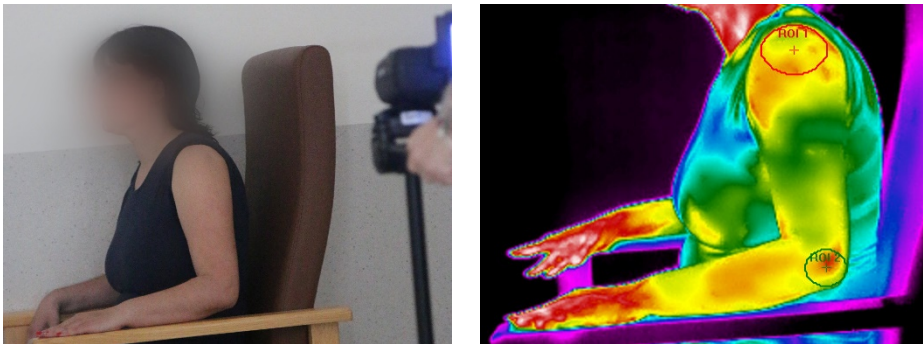


Figura 60: Visualização de um momento de aquisição da temperatura do ombro e cotovelo.

De seguida, foi feita a aquisição ao dorso e à superfície palmar, considerando como ROI's os músculos palmares e os dígitos. Um fundo preto foi utilizado com o intuito de garantir a ausência de reflexos e aumentar o contraste. A Figura 61 mostra um momento de aquisição do filme termográfico da superfície palmar.

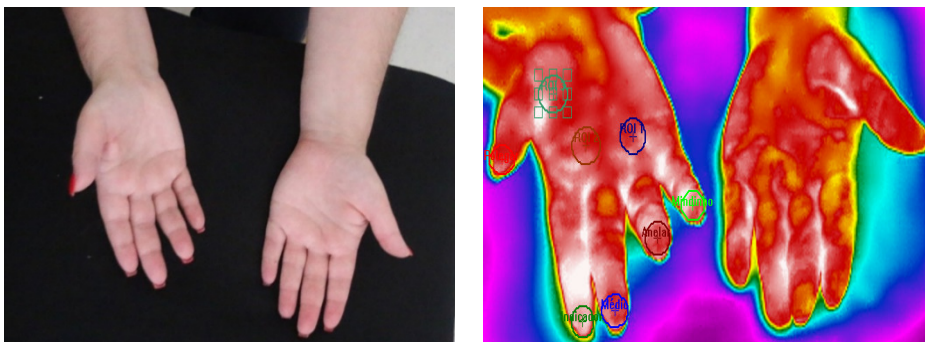


Figura 61: Visualização do momento de aquisição do filme termográfico da superfície palmar.

A etapa seguinte do protocolo envolveu o registo de filme termográfico para os membros inferiores. Previamente, foi solicitado ao voluntário a remoção da roupa de modo a registar a temperatura dos membros. Com o voluntário em pé, foi recolhida a temperatura nos membros inferiores, nomeadamente no joelho e retináculo extensor. A Figura 62 mostra um momento de aquisição do filme termográfico dos membros inferiores.

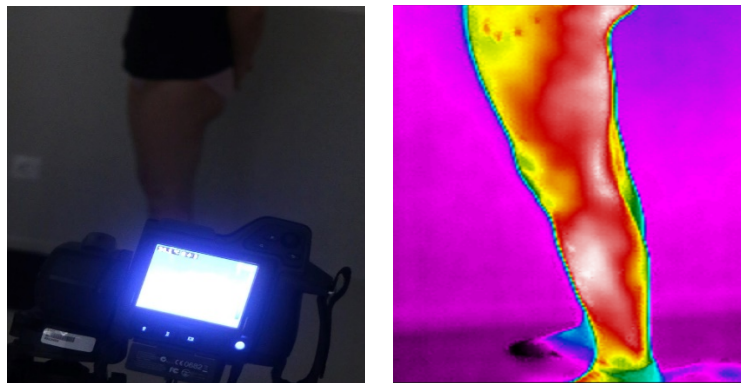


Figura 62: Visualização do momento de aquisição do filme termográfico dos membros inferiores.

Por fim, com o voluntário sentado e com os pés elevados, procedeu-se ao registo da temperatura da planta do pé. Neste caso, foram tidos em conta as ROI's apresentadas na Figura 63.



Figura 63: Definição das ROI's da planta do pé (Gatt, et al., 2014). Visualização de um momento de recolha do filme termográfico.

O tratamento dos dados registados foi realizado com recurso ao software *FLIR ResearchIR Max 4.0*. Esta etapa, de pós-processamento, permitiu o registo visual de imagens das várias regiões de interesse definidas, assim como a quantificação de dados referentes aos mapas térmicos de cada uma das regiões, em especial o valor da temperatura máxima que se identifica na região.

Tendo em conta o volume de dados recolhidos são apresentadas, como exemplo, algumas imagens comparativas entre o membro afetado e o membro não afetado das três sessões realizadas. Assim, da Figura 64 à Figura 68 são apresentadas as imagens termográficas obtidas referentes à face, braço, mãos, membros inferiores e pés.

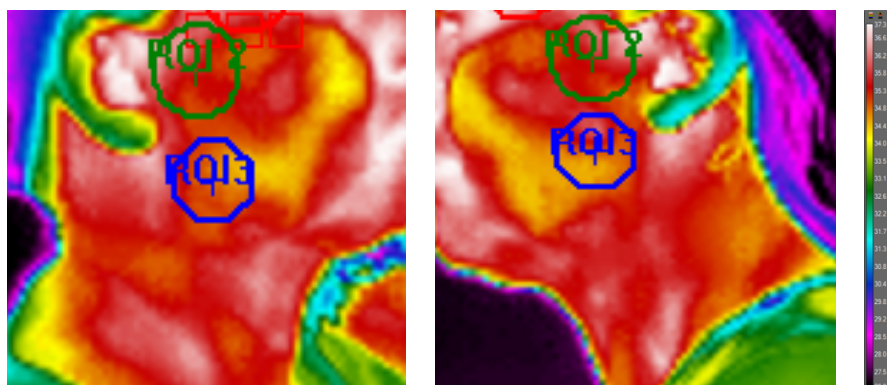


Figura 64: Comparação da temperatura entre a face afetada (esquerda) e a face não afetada (direita) nas ROI's definidas.

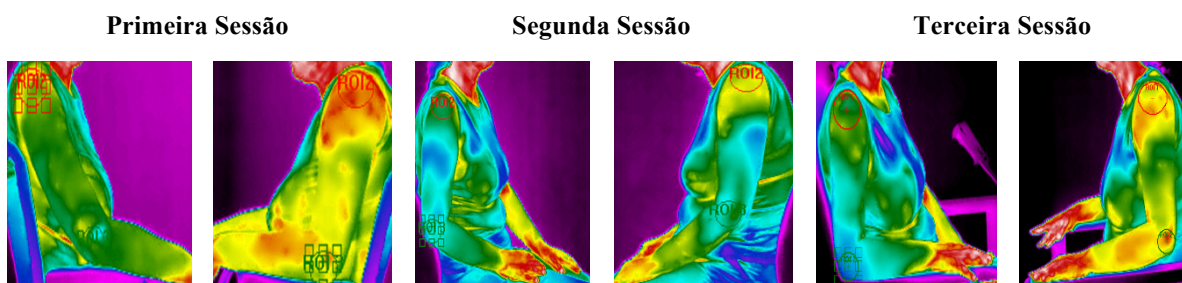


Figura 65: Comparação da temperatura entre o ombro afetado (esquerda) e o ombro não afetado (direita) nas ROI's definidas.

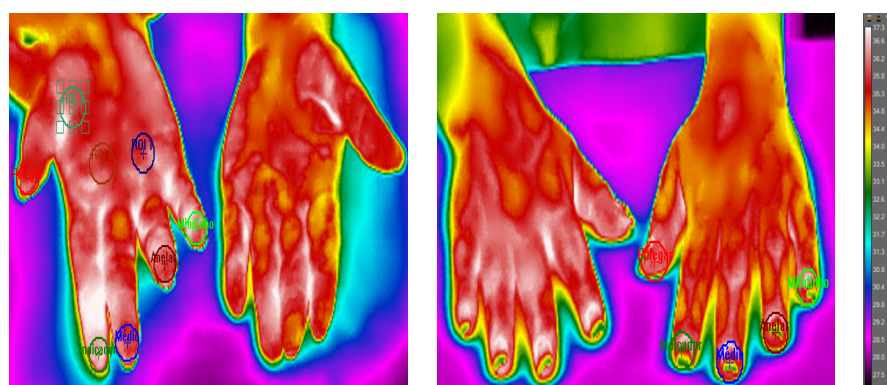


Figura 66: Comparação da temperatura entre as superfícies palmares (esquerda) e os dorsos (direita) nas ROI's definidas.

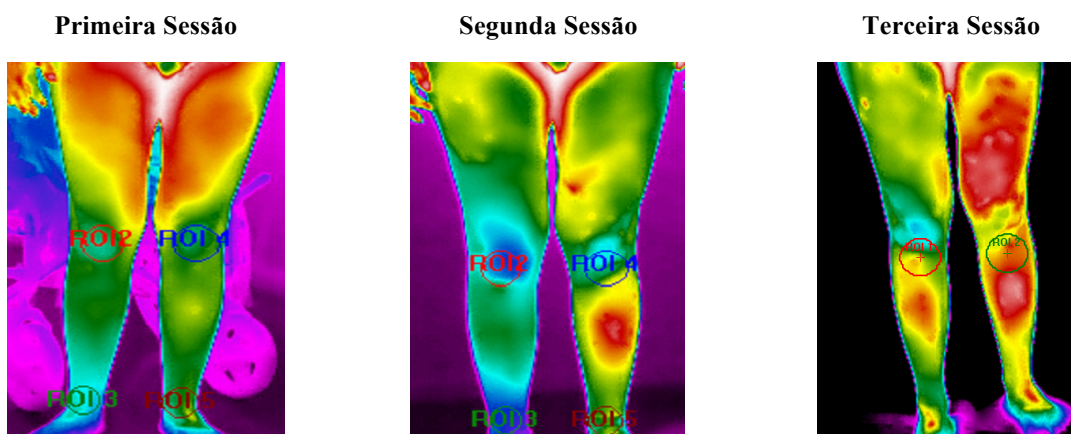


Figura 67: Comparação da temperatura entre o membro inferior afetado (esquerda) e não afetado (direita) nas ROI's definidas.

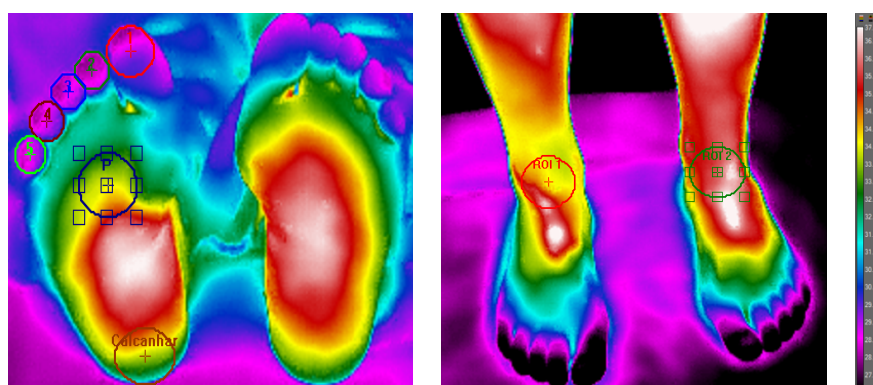


Figura 68: Comparação da temperatura entre o pé afetado (esquerda) e não afetado (direita) nas ROI's definidas.

A Figura 69 e a Figura 70 apresentam os valores da temperatura máxima e mínima na face, de acordo com as regiões de interesse mencionadas na Figura 59, comparando os valores recolhidos nas três sessões. Da análise à Figura 69, verifica-se que a temperatura máxima nas ROI 1 e ROI 2, na primeira e segunda sessão, é mais elevada na face afetada em relação ao a face não afetada, podendo este facto estar associado a inflamações nessas regiões ou à espasticidade dos músculos. Na terceira sessão, verifica-se a diminuição da temperatura em todas as regiões da face afetada. Relativamente à temperatura mínima (Figura 70), na primeira sessão, verifica-se todas as ROI's da face afetada apresentam temperatura mais elevadas comparadas com as ROI's da face não afetada. Na segunda sessão, apenas a ROI 2 apresenta temperatura mais baixas no membro afetado. Na terceira sessão, ocorre uma diminuição da temperatura na ROI 1 e ROI 3 e um aumento da ROI 2.

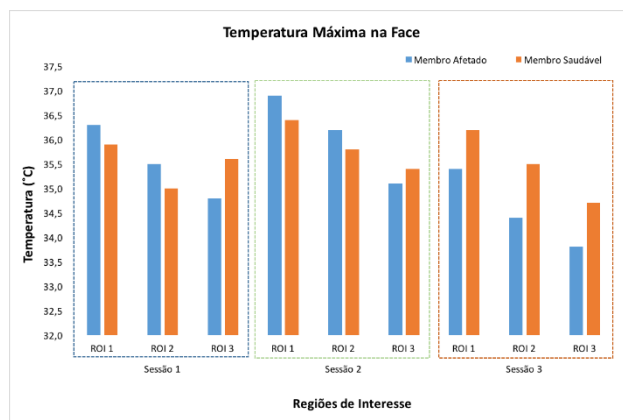


Figura 69: Variação da temperatura máxima nas regiões de interesse da face.

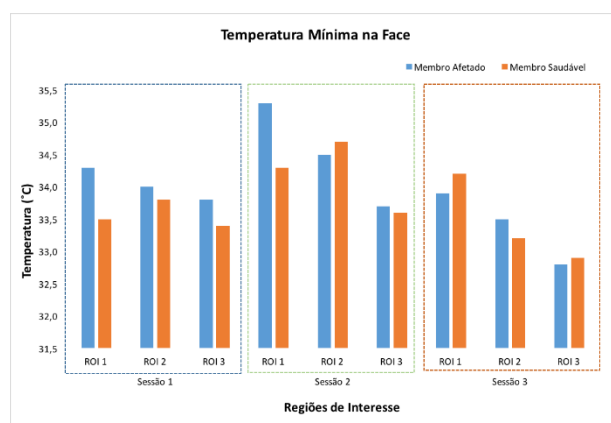


Figura 70: Variação da temperatura mínima nas regiões de interesse da face.

Ao invés da face, o ombro e o cotovelo afetados apresentam temperaturas máximas inferiores ao não afetado, em todas as sessões. Da análise à Figura 71, verifica-se que a diferença de temperatura entre os membros afetados e não afetados é mais acentuada na terceira sessão. No caso da temperatura mínima (Figura 72), observa-se que somente o cotovelo afetado apresenta temperatura superior ao não afetado, na segunda sessão.

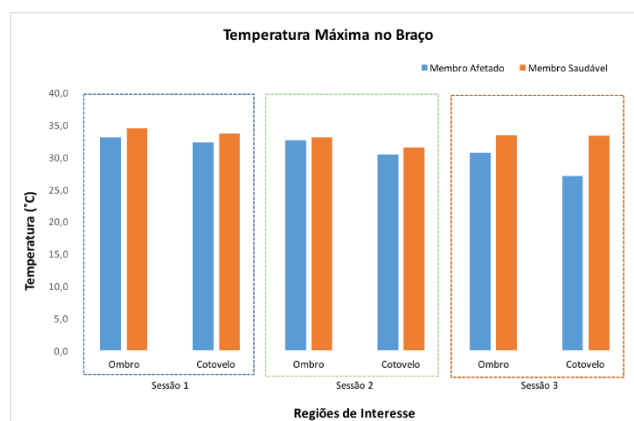


Figura 71: Variação da temperatura máxima nas regiões de interesse do braço.

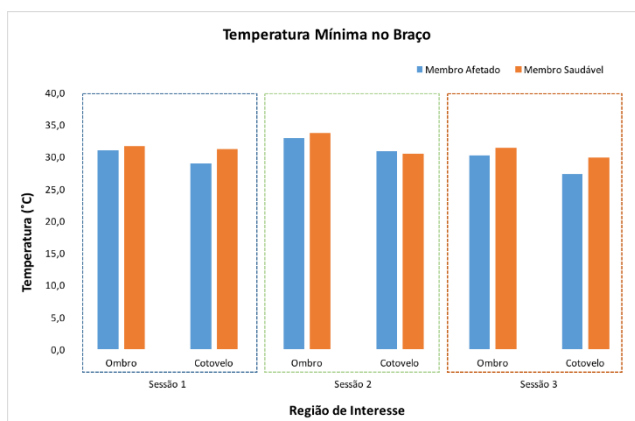


Figura 72: Variação da temperatura mínima nas regiões de interesse do braço.

Relativamente à observação dos mapas de temperatura na mão (Figura 73), na primeira sessão verifica-se que o polegar e mindinho apresentam temperatura superior no membro afetado. O indicador e médio revelam temperatura inferior no membro afetado e, por sua vez, o anelar apresenta valores semelhantes entre o membro afetado e o membro não afetado. Na segunda sessão o anelar mantém o mesmo valor no membro afetado e não afetado. Contrariamente à primeira sessão, o polegar e mindinho apresentam valores inferiores no membro não afetado. O médio mantém valores no membro afetado ligeiramente inferior ao membro não afetado. No entanto, o indicador aumentou ligeiramente relativamente à primeira sessão. Na última sessão verifica-se um decréscimo da temperatura máxima em todos os dígitos afetados.

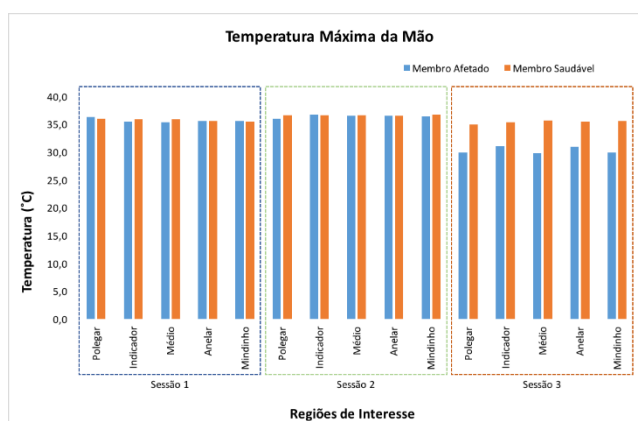


Figura 73: Variação da temperatura máxima nas regiões de interesse da mão.

Os dados correspondentes à temperatura mínima são expostos na Figura 74. Na primeira sessão, o polegar afetado revela temperatura superior quando comparado com o polegar não afetado e os restantes dígitos apresentam temperaturas inferiores aos não afetados. Na segunda sessão observa-se que o polegar e indicador afetados apresentam temperaturas superiores aos não afetados e o médio valores iguais de temperatura entre afetado e não afetado. Os restantes dígitos afetados tendem a igualar a sua temperatura aos não afetados. Na terceira sessão, o polegar afetado mantém a temperatura superior ao polegar não afetado. É ainda notória uma diminuição da temperatura do indicador afetado da segunda para a terceira sessão.

Na terceira sessão, observa-se um aumento acentuado da temperatura em ambos os médios em relação à segunda sessão, com diminuição da temperatura no médio afetado. Verifica-se ainda o aumento da temperatura do anelar e mindinho em relação às sessões anteriores.

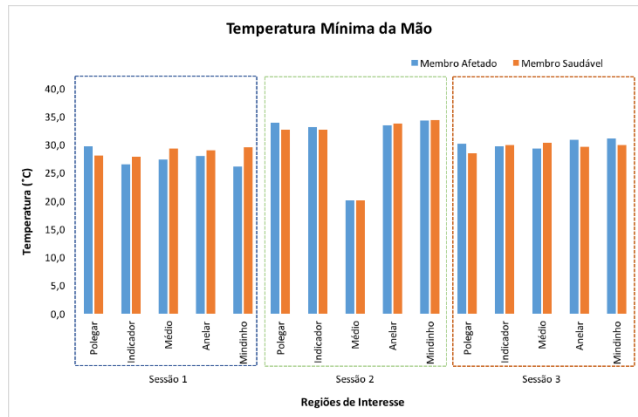


Figura 74: Variação da temperatura mínima nas regiões de interesse da mão.

Os registos de temperatura nos membros inferiores são apresentados na Figura 75 e na Figura 76. Da análise aos resultados obtidos para a temperatura máxima (Figura 75), observa-se que na primeira sessão o joelho afetado apresenta uma temperatura superior em relação ao joelho não afetado com tendência a diminuir nas sessões seguintes. Verifica-se uma diminuição da temperatura máxima em ambos os membros afetados bem como um aumento de temperatura nos membros não afetados entre cada sessão.

Contrariamente aos resultados obtidos para a temperatura máxima, no caso da temperatura mínima (Figura 76), o joelho e o retináculo extensor afetados tendem a igualar a temperatura com os membros não afetados em cada sessão.

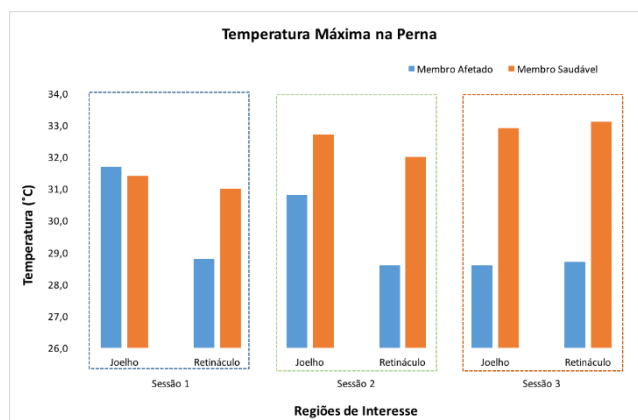


Figura 75: Variação da temperatura máxima nas regiões de interesse da perna.

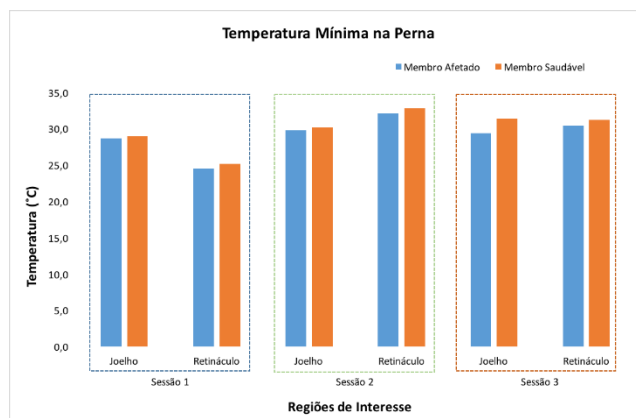


Figura 76: Variação da temperatura mínima nas regiões de interesse da perna.

No caso do pé, a Figura 77 apresenta os registos da temperatura máxima. Na primeira sessão observa-se que o 1º, 3º e 5º pododactilos afetados apresentam temperaturas superiores em relação aos pododactilos não afetados. Por sua vez, o 2º, 4º, planta e calcanhar afetados ostentam temperaturas inferiores. Neste caso, a temperatura dos membros afetados tende a diminuir significativamente, atingindo na terceira sessão valores inferiores aos membros não afetados.

Do registo das temperaturas mínimas do pé na primeira sessão (Figura 78), verifica-se uma proximidade da temperatura entre os membros afetados e os membros não afetados, com exceção do 4º pododactilo. Na segunda sessão, ocorre um decréscimo da temperatura no 4º pododactilo e um aumento da temperatura nos restantes membros afetados em comparação com os membros não afetados. Apesar deste aumento de temperatura, a planta afetada e o calcanhar afetado mantêm temperatura inferior à planta não afetada e o calcanhar não afetado. Na terceira sessão, verifica-se um decréscimo geral das temperaturas, inclusive dos membros afetados.

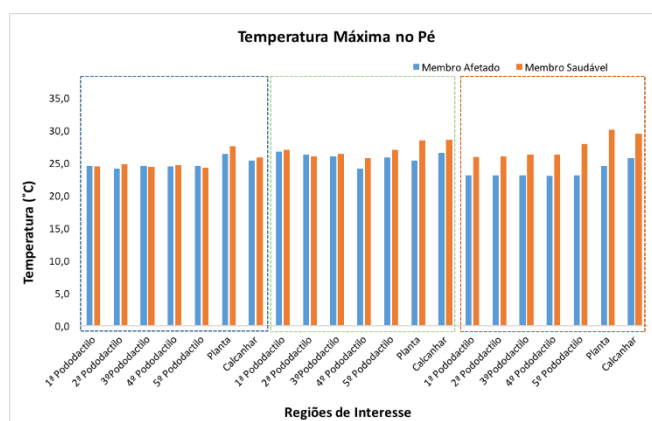


Figura 77: Variação da temperatura máxima nas regiões de interesse do pé.

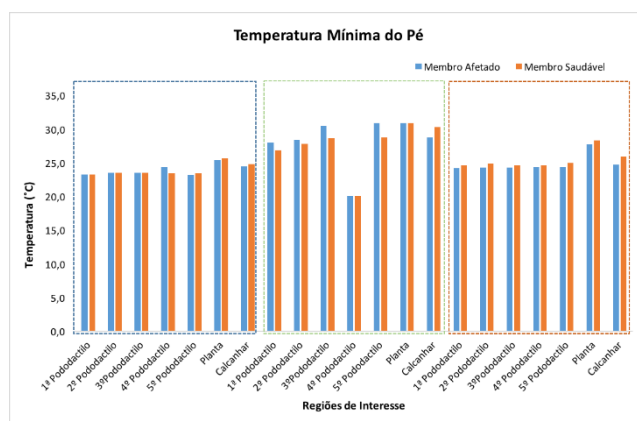


Figura 78: Variação da temperatura mínima nas regiões de interesse do pé.

6.4. Conclusões

A literatura refere que um membro afetado por acidente vascular cerebral apresentará tipicamente valores de temperaturas na pele mais baixas em comparação com os membros não afetados. Este seria o resultado global esperado deste estudo. Contudo, os resultados obtidos não permitem identificar um padrão, sendo que, apesar de numa grande parte das situações a redução de temperatura seja evidente, verifica-se que tal não sucede em várias outras regiões. Este facto pode estar associado a inflamações nessas zonas ou à espasticidade dos músculos na zona envolvente.

No entanto, a termografia revelou ser sensível em relação à má evolução da paciente bem como às diferenças de temperatura entre o membro afetado e o membro não afetado.

7. Conclusões Finais e Desenvolvimentos Futuros

A presente dissertação envolveu a aplicação da termografia como base de avaliação biomecânica em contexto de estudo e investigação aplicada. Foram implementados três estudos, direcionados para os domínios da biomecânica ocupacional, biomecânica orofacial e biomecânica de reabilitação. A descrição pormenorizada dos estudos efetuados foi feita nos respetivos capítulos, tendo as conclusões a retirar em cada um deles sido já elencada. Contudo, importa aqui referir as conclusões globais que se podem retirar quanto a um dos principais objetivos deste trabalho de dissertação, a contribuição para um melhor conhecimento da termografia, não só em termos do seu princípio de funcionamento, mas também no reconhecimento da sua potencialidade como ferramenta de avaliação e/ou acompanhamento da recuperação de pacientes.

Tendo por base alterações dos padrões de temperatura, diversas patologias podem ser detetadas com recurso a um equipamento termográfico, contribuindo assim para a sua identificação numa fase inicial. Preconiza-se assim, a implementação da termografia como ferramenta complementar de diagnóstico e tratamento, uma vez que poderá disponibilizar informações relevantes para uma melhor avaliação e acompanhamento dos pacientes.

Entre as diversas vantagens desta técnica, destacam-se a facilidade e rapidez aliada ao baixo custo de execução do teste termográfico, o fato de ser uma técnica não invasiva, pois não requer o contacto direto com a pele, tornando-a mais segura e sem qualquer perigo para o paciente. Possibilita ainda a aquisição, em simultâneo, de um elevado número de imagens (pixéis) num curto espaço de tempo. Contudo, a aplicação da termografia em contexto clínico requer o cumprimento de protocolos standardizados relativamente a critérios de seleção/exclusão de pacientes, condições ambientais, preparação do paciente e condições do equipamento.

Os resultados obtidos a partir das aplicações da técnica de termografia sustentam a viabilidade, utilidade e sensibilidade da técnica na identificação das variações nos padrões de temperatura bem como na visualização e quantificação de alterações de mapas de temperatura nas diferentes regiões de interesse pré-definidas.

A importância reconhecida a partir da avaliação dos resultados obtidos permite definir um conjunto de prioridades quanto a trabalhos futuros que se pretendem desenvolver neste domínio. Assim, elencam-se os seguintes trabalhos cuja implementação se prevê:

- Aumentar o número de pacientes a acompanhar em processo de recuperação pós AVC, assim como o número de avaliações a executar em cada paciente;

- Definir um conjunto de variantes no protocolo de aplicação da terapia baseada no gelo, por exemplo com diferentes tempos de contacto com a pele, assim como estudar outro tipo de estímulos complementares, por exemplo através da leitura de textos;
- Alargar o campo de utilização a outras aplicações em que o uso da termografia tenha utilidade, no contexto da biomecânica;
- Por último, tendo em conta o recente aparecimento de equipamentos de baixo custo ligados à termografia, mas que registam apenas imagem, pretende-se estudar a viabilidade de utilização deste tipo de equipamentos no âmbito de avaliações biomecânicas, validando a sua aplicação a partir do equipamento usado neste trabalho.

8. Referências Bibliográficas

- Aghoghovwia, B., Sixtus, R., & Chaves, C. (s.d.). *Kenhub*. Obtido em 26 de Julho de 2017, de <https://www.kenhub.com/en/library/anatomy/veins-of-the-upper-limb>
- Ahmad, M. (10 de Janeiro de 2013). *Termografia como Instrumento de Manutenção Condicionada na Marinha*. Dissertação de Mestrado, Escola Naval, Departamento de Formação de Engenheiros Navais. Obtido em 28 de Junho de 2017, de <http://ventosdouniverso.blogspot.pt/>
- Ahmad, M. (2013). *Termografia como Instrumento de Manutenção Condicionada na Marinha*. Dissertação de Mestrado, Escola Naval.
- Álava, G. (2017). *Assinaturas Térmicas*. Obtido de <http://www.mra.pt/industria/produtos/termografia-e-camaras-termograficas/camaras-termograficas-investigacao-e-desenvolvimento-id/camaras-refrigeradas/assinaturas-termicas/fotos/>
- Annibale, A., Ilio, A. D., Trozzi, M., & Bonaventura, L. (2015). The use of infrared thermography for maintenance purposes in the production process of components for automotive alternators. *Science Direct*, 143-146.
- ASSH. (s.d.). *American Society for Surgery of the Hand*. Obtido em 4 de Setembro de 2017, de <http://www.assh.org/handcare/Anatomy/Vessels>
- Associação AVC - Acidentes Vasculares Cerebrais*. (2009). Obtido em 24 de Julho de 2017, de <http://associacaoavc.pt/Informacao/Menu1/Page3.php>
- Bagavathiappan, S., Lahiri, B. B., Saravanan, T., Philip, J., & Jayakumar, T. (2013). Infrared thermography for condition monitoring - A review. *Infrared Physics & Technology*, 35-55.
- Barreira, E. (2004). *Aplicação da Termografia ao Estudo do Comportamento Higrótérmico dos Edifícios*. Dissertação, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- Bento, D. A. (2011). *Modelação Matemática da Variação da Temperatura no Pé*. Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior de Tecnologia e de Gestão, Bragança.
- Bouzida, N., Bendada, A., & Maldague, X. P. (2009). Visualization of Body Thermoregulation by Infrared Imaging. *Journal of Thermal Biology*, 120-126.

-
- Branco, C. A. (2016). Síndromes miofasciais, dor e termografia. Em J. Gabriel, C. A. Branco, A. P. Ferreira, C. Ramalhão, R. Vardasca, & M. P. Clemente, *Termografia - Imagem Médica e Síndromes Dolorosas* (pp. 50-61). Lisboa, Portugal: Lidel.
- Carvalho, S. L. (2014). *Caracterização da Distribuição da Temperatura na Planta do Pé*. Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Bragança.
- Clemente, M. P., Gabriel, J., Vaz, R., Pereira, P. A., Ferreira, A. P., & Madeira, D. (2016). O contributo da termografia na dor orofacial: considerações anatómicas. Em J. Gabriel, C. A. Branco, A. P. Ferreira, C. Ramalhão, R. Vardasca, & M. P. Clemente, *Termografia - Imagem Médica e Síndromes Dolorosas* (pp. 75-89). Lisboa, Portugal: Lidel.
- Clínica Dr. Hong Jin Pai & Associados*. (20 de Junho de 2016). Obtido de <http://www.hong.com.br/inativacao-agulhamento-pontos-gatilho/>
- Côrte, A. C., & Hernandez, A. J. (2016). Application of Medical Infrared Thermography to Sports Medicine. *Revista Brasileira Médica Esporte*, 22, 315-319.
- Cruz, C. A. (2012). *Teoria Quântica da Radiação*. Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação.
- Cuevas, I. (9 de March de 2015). Classification of factores Influencing the use of infrared thermography in humans. *Infrared Physics & Technology*, 28-55.
- Dibai-Filho, A. V., Costa, A. C., Packer, A. C., Castro, E. M., & Rodrigues-Bigaton, D. (2013). Accuracy of Infrared Thermography of the Masticatory Muscles for the Diagnosis of Myogenous Temporomandibular Disorder. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 245-252.
- Dibai-Filho, A. V., Costa, A. C., Packer, A. C., Castro, E. M., & Rodrigues-Bigaton, D. (2015). Women With More Severe Degrees of Temporomandibular Disorder Exhibit an Increase in Temperature Over the Temporomandibular Joint. *The Saudi Dental Journal*, 44-49.
- Filho, A. R., Leitão, A. M., & Bruno, J. A. (2009). *Atlas Texto de Anatomia Humana Aplicada*. Fortaleza.
- FLIR. (2016). Obtido de <http://www.flir.com/science/display/?id=46500>
- FLUKE. (s.d.). *Guia de Aplicações da Termografia à Manutenção Industrial*. Obtido em 12 de Julho de 2017, de <http://www.fluke.com/fluke/ptpt/solucao/termografia/industria-de-servicos-publicos-de-termografia>
-

- Formenti, D., Ludwig, N., Trecroci, A., Gargano, M., Michielon, G., Caumo, A., & Alberti, G. (2016). Dynamics of Thermographic Skin Temperature Response During Squat Exercise at two different Speeds. *Journal of Thermal Biology*, 53-63.
- Fraga, A. S., Tavares, M. R., Martins, K., & Rossi, F. (2009). *Termografia - Ensaios Mecânicos*.
- Gabriel, J., Branco, C. A., Ferreira, A. P., Ramalhão, C., Vardasca, R., & Clemente, M. P. (2016). *Termografia - Imagem Médica e Síndromes Dolorosas* (1ª Edição ed.). Lidel - Edições Técnicas.
- Gatt, A., Formosa, C., Cassar, K., Camilleri, K., Raffaele, C., Mizzi, A., . . . Chockalingam, N. (22 de Dezembro de 2014). Thermographic Patterns of the Upper and Lower Limbs: Baseline Data. *International Journal of Vascular Medicine*, 2015, 4-7.
- Ghahramani, A., Castro, G., Gerber, B. B., & Yu, X. (2016). Infrared Thermography of Human Face for Monitoring Thermoregulation Performance and Estimating Personal Thermal Comfort. *Building and Environment*, 1-11.
- Gonçalves, T. (2011). *Sistemas de Energia e Máquinas Elétricas com recurso a Termografia*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- Guerra, R. (2013). *Protocolos dos Laboratórios de Física*, 1.1. Obtido de <http://w3.ualg.pt/~jlongras/1-Lei-Stefan-Boltzmann.pdf>
- Haddad, D. S., Brioschi, M. L., Vardasca, R., Weber, M., Crosato, M. E., & Arita, E. S. (29 de Junho de 2014). Thermographic characterization of masticatory muscle regions in volunteers with and without myogenous temporomandibular disorder.
- Hadzic, V., Sirok, B., Malnersic, A., & Coh, M. (2015). Can Infrared Thermography be Used to Monitor Fatigue During Exercise? *Journal of Sport and Health Science*, 1-4.
- Holst, G. C. (2000). *Common Sense Approach to Thermal Imaging*.
- <https://saudavelefeliz.com/avc-e-a-idade-035/>. (28 de Julho de 2017).
- Huda, A. S., & Taib, S. (2 de Agosto de 2013). Application of infrared thermography for predictive/preventive maintenance of thermal defect in electrical equipment. *Applied Thermal Engineering*, 220-227.
- Jadin, M. S., & Taib, S. (24 de Março de 2012). Recent progress in diagnosing the reliability of electrical equipment by using infrared thermography. *Infrared Physics & Technology*, 236-245.

-
- Johannes, K (2012). Obtido em 28 de Junho de 2017, de Kenhub: <https://www.kenhub.com/en/start/c/wrist-and-hand>
- Jones, B. (2000). *Radiation Heat Transfer*. Oxford University Press. 1 st edition. Obtido de Oxford University Press.
- Jones, B. (2000). *Radiation Heat Transfer*. Oxford University Press. 1st edition.
- Jones, L. A., & Lederman, S. J. (2006). *Human Hand Function*. New York: Oxford .
- Jones, O. (14 de Abril de 2017). *Venous Drainage of the Upper Limb*. Obtido em 22 de Julho de 2017, de TeachMeAnatomy: <http://teachmeanatomy.info/upper-limb/vessels/veins/>
- Karunaharamoorthy, A. (s.d.). *Kenhub*. Obtido em 15 de Julho de 2017, de <https://www.kenhub.com/en/library/anatomy/temporal-muscle>
- Keenan, E., Georgina, G., Louisa, F., David, W., & Gerard, O. (2017). "Investigating Point to Point Emissivity Variation of Wounder Tissue". *Physiological Measurement - IOPScience*, 1-14.
- Lahiri, B. B., Bagavathiappan, S., Jayakumar, T., & Philip, J. (13 de Abril de 2012). Medical applications of infrared thermography: A review. *Infrared Physics & Technology*, 221-235.
- Louvain, L. C., Cabral, L. G., & Gomes, K. R. (2010). Aplicações da Termografia na Manutenção Preditiva. *Bolsista de Valor: Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense*, 1, 109-112.
- Magalhães, S., Albuquerque, R. R., Pinto, J. C., & Moreira, A. L. (2001/2002). *Termorregulação*. Faculdade de Medicina da Universidade do Porto, Serviço de Fisiologia.
- Margalho, L. (2015). *Breve Introdução ao Software R*. Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra.
- Marques, C. (2016). *Mundo Educação*. Obtido de Características de ondas eletromagnéticas: <http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/caracteristicas-das-ondas-eletromagneticas.htm>
- Martins, M. (2012). *Termografia em Engenharia Biomédica Ensaio Exploratórios*. Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Bragança.
- Matos, S. (12 de Abril de 2014). *Anatomia da mão e do pé*. Obtido em 12 de Agosto de 2017
-

- Medeiros, W. (2010). *Primórdios da Física Quântica: Radiação de Corpo Negro*. Universidade Federal de Paraná.
- Merla, A., Mattei, P. A., Donato, L. D., & Romani, G. L. (2009). Thermal Imaging of Cutaneous Temperature Modifications in Runners During Graded Exercise. *Annals of Biomedical Engineering*, 38(1), 156-163.
- Merla, A., Mattel, P., Donato, L., & Romani, G. (2 de Setembro de 2008). Thermal Imaginf of Cutaneous Temperature Modifications in Runners During Graded Exercise. *Annals of Biomedical Engineering*, 158.
- Moore, J. (6 de Junho de 2010).
- Multiple Sclerosis (MS) Symptoms: Trigeminal Neuralgia (Facial Pain)*. (s.d.). Obtido de MS Unites: <http://www.msunites.com/multiple-sclerosis-ms-symptoms-trigeminal-neuralgia-facial-pain/>
- NRC. (2007). Obtido de https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/resource/tutor/fundam/pdf/fundamentals_e.pdf
- Oliveira, T. (2012). *Análise de Sistemas de Energia e Máquinas Elétricas com recurso a Termografia*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Pedro, J. (5 de Dezembro de 2014). *Physics*. Obtido em 28 de Junho de 2017, de Stack Exchange: <https://physics.stackexchange.com/questions/150652/how-constant-volume-gas-thermometer-keeps-the-volume-constant>
- Pereira, J. (2012). *Termografia Infravermelho*. Obtido de in3.dem.ist.utl.pt/laboratories/slides/6_1.pps
- PLC e SCADA*. (27 de Abril de 2016). Obtido de <http://plcscada.com/instrumentacao/analise-termografica-de-ativos-em-subestacoes/>
- Quesada, J. I., Kunzler, M. R., & Carpes, F. P. (30 de Dezembro de 2016). Methodological Aspects of Infrared Thermography in Human Assessment. *Biological and Medical Physics, Biomedical Engineering*, 49-79.
- Rafaela. (12 de Outubro de 2016). *Consulta Remédios*. Obtido em 24 de Julho de 2017, de AVC Isquêmico e Hemorrágico: o que é, sintomas, causas e sequelas: <https://consultaremedios.com.br/crsaude/avc-isquemico-e-hemorragico-o-que-e-sintomas-causas-e-sequelas/problemas-de-saude/sua-saude>

-
- Ring, E. F. (2007). The Historical development of Temperature Measurement in Medicine. *Infrared Physics & Technology*, 49, 297-301.
- Ring, E. F., & Ammer, K. (2000). The Technique of Infrared Imaging in Medicine. *Thermology International*, 7-14.
- Rohen, J. W., Yokochi, C., & Drecoll, E. L. (2011). *Color Atlas of Anatomy - A Photographic Study of the Human Body* (Sétima Edição ed.). Germany: Schattauer.
- Rossignoli, I., Cuevas, I. F., Benito, P. J., & Herrero, A. J. (2016). Relationship Between Shoulder Pain and Skin Temperature Measured by Infrared Thermography in a Wheelchair Propulsion Test. *Infrared Physics & Technology*, 251-258.
- Shah, S., & Bougherara, H. S. (2012). Biomechanical Stress Maps of an Artificial Femur Obtained Using a New Infrared Thermography Technique Validated by Strain Gages. *Medical Engineering & Physics*, 1496-1502.
- Silva, E. J. (2010). *Reabilitação após o AVC*. Tese de Mestrado, Universidade do Porto, Faculdade de Medicina, Porto.
- Silva, F. A. (2016). *Diagnóstico da Envolvente de um Edifício Escolar com Recurso a Análise Termográfica*. Tese de Mestrado, Instituto Politécnico de Viana do Castelo, Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Viana do Castelo.
- Silva, R. N. (2007). *Estudo da Termografia por Infravermelho: Aplicações na Engenharia e Determinação de Parâmetros Termofísicos e Geométricos de Materiais*. Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- SOBOTTA, J. (2000). *Atlas de Anatomia Humana*. Rio de Janeiro.
- Tanda, G. (2016). Skin Temperature Measurements by Infrared Thermography During Running Exercise. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 103-113.
- Vardasca, R. (2016). Fundamentos de Física Térmica. Em J. Gabriel, C. A. Branco, A. P. Ferreira, C. Ramalhão, R. Vardasca, & M. P. Clemente, *Termografia - Imagem Médica e Síndromes Dolorosas*. Lisboa: Lidel - Edições Técnicas.
- Vardasca, R., & Gabriel, J. (2016). *O protocolo standard na captura de imagens de termografia médica*. Lisboa: Lidel - Edições Técnicas.
- Vardasca, R., Ramalhão, C., & Gabriel, J. (2016). Enquadramento da Termografia com Outras Técnicas de Imagem Médica. Em J. Gabriel, C. A. Branco, A. P. Ferreira, C. Ramalhão,
-

-
- R. Vardasca, & M. P. Clemente, *Termografia - Imagem Médica e Síndromes Dolorosas* (Vol. 1º, pp. 4-5). Lisboa, Portugal: Lidel.
- Wozniak, K., Szyszka-Sommerfeld, L., Trybek, G., & Piatkowska, D. (2015). Assessment of the Sensitivity, Specificity and Accuracy of Thermography in Identifying Patients with TMD. *Medical Science*, 1485-1493.
- Wu, C.-L., Yu, K.-L., Chuang, H.-Y., Huang, M., Chen, T.-W., & Chen, C.-H. (Maio de 2009). The Application of Infrared Thermography in the Assessment of Patients With Coccygodynia Before and After Manual Therapy Combined With Diathermy. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 287-293.
- Zandi, M., Amini, P., & Keshavarz, A. (2016). Effectiveness of Cold Therapy in Reducing Pain, Trismus and Oedema After Impacted Mandibular Third Molar Surgery: A Randomized, Self-Controlled, Observer-Blind, Split-Mouth Clinical Trial. *International Journal of Oral & Maxillofacial Surgery*, 118-123.

9. Apêndice

9.1. Consentimento Informado, Livre e Esclarecido para participação em Trabalho de investigação Aplicada

Por favor, leia com atenção a seguinte informação. Se achar que algo está incorreto ou que não está claro, não hesite em solicitar mais informações. Se concorda com a proposta que lhe foi feita, queira assinar este documento.

Título do Estudo: *Identificação da Distribuição da Temperatura no Rosto com Técnicas de Termografia – Ativação Muscular com base em estímulos com gelo e pastilha elástica.*

Equipa de Investigação e Enquadramento: Este trabalho de investigação aplicada insere-se na Dissertação de Mestrado da aluna Ana Renata Gomes Dionísio, regularmente matriculada no Mestrado de Engenharia e Gestão Industrial do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, e sob orientação do Prof. Doutor Luis Manuel Ferreira Roseiro.

Explicação do Estudo: A investigação decorrerá no LBA – Laboratório de Biomecânica Aplicada do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra e tem como objetivo identificar oscilações da temperatura na superfície da pele em ambas as faces do rosto quando aplicado um estímulo muscular na zona envolvente da cabeça. Na face direita, o voluntário deve aplicar gelo durante 5 minutos de modo a verificar o tempo necessário para atingir a temperatura inicial na região de interesse. Na outra face, será aplicado gelo e, posteriormente, uma pastilha elástica com o intuito de avaliar a sua contribuição para a recuperação da temperatura inicial. A recolha da temperatura em ambas as faces é realizada antes, durante e após o estímulo. A aquisição de dados será feita com recolha de filme termográfico, a partir de uma câmara termográfica posicionada lateralmente ao voluntário. Previamente à recolha de dados, o voluntário deve permanecer em repouso durante 15 minutos na sala, de modo a atingir a estabilidade da temperatura. Nesse período responderá a um pequeno questionário de suporte.

É fundamental que não aplique cosméticos ou ingira bebidas energéticas nesse dia. Os voluntários do sexo feminino devem ter o cabelo preso com um elástico e os voluntários do sexo masculino devem eliminar a barba.

Confidencialidade e Anonimato: Os dados recolhidos serão estritamente confidenciais e anónimos e serão utilizados exclusivamente para o presente estudo.

Termo de Aceitação

Eu, _____, nascido(a) em ___ / ___ / _____, portador(a) do Cartão de Cidadão número _____, com o e-mail: _____ e telefone nº: _____, declaro ter lido e compreendido este documento, bem como as informações verbais que me foram fornecidas pela equipa de investigação. Desta forma, aceito sem reservas participar neste estudo e permito a utilização dos dados que de forma voluntária forneço, confiando em que apenas serão utilizados para esta investigação e nas garantias de confidencialidade e anonimato que me são dadas pela equipa de investigação.

O(A) Voluntário(a)

A Aluna

O Investigador Responsável

9.2. Questionário

Nome/ID: _____ Idade: _____
 Peso: _____ Altura: _____

INSTRUÇÕES

Por favor, leia com atenção a seguinte informação. Se achar que algo está incorreto ou que não está claro, não hesite em solicitar mais informações. Responda às perguntas que se seguem, assinalando com “X” a opção escolhida. A informação resultante deste questionário é confidencial

Questões	Sim	Não
1. Sabe em que consiste o exame termográfico?		
2. Sofre ou sofreu de doenças dos vasos ou do sangue (p.ex. Insuficiência venosa, Hemofilia, AVC)? Se sim, indique qual: _____		
3. Sofre ou sofreu de doenças do aparelho respiratório (p.ex. Asma, Bronquite, Alergias, Insuficiência Respiratória)? Se sim, indique qual: _____		
4. Possui alguma doença de pele (p.ex. eczema)?		
5. Consome, diariamente, bebidas alcoólicas?		
6. Possui hábitos tabágicos?		
7. Consome, frequentemente, estimulantes (p.ex. Café, Chocolate, bebidas energéticas)? Se sim, indique qual: _____		

Permite que as suas imagens termográficas sejam, se necessário, publicadas em contexto de tese, artigos e apresentação em conferências?		
---	--	--

O(A) Voluntário(a)

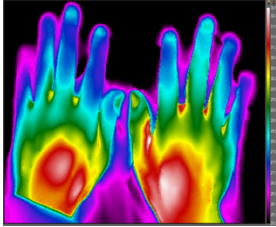
A Aluna

O Investigador Responsável

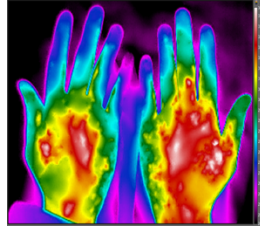
9.3. Identificação dos Mapas de Temperatura na Mão

Voluntário 1

Dorso

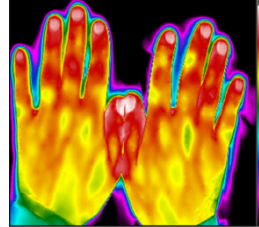


Superfície Palmar

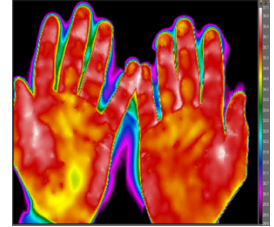


Voluntário 2

Dorso

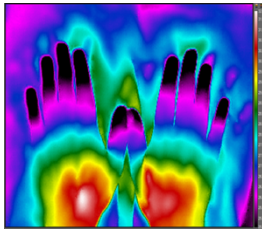


Superfície Palmar

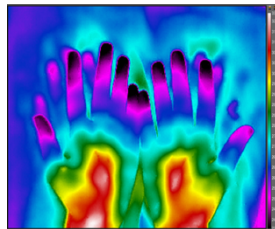


Voluntário 3

Dorso

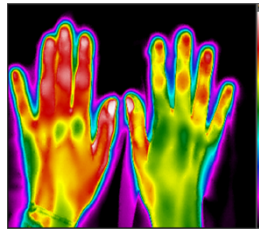


Superfície Palmar

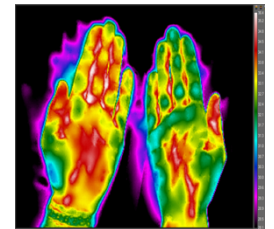


Voluntário 4

Dorso

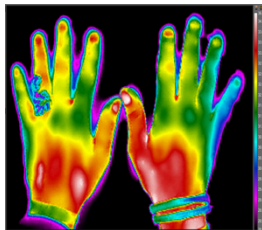


Superfície Palmar

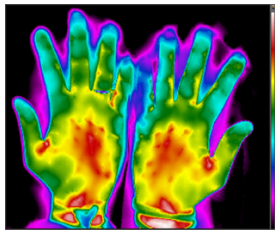


Voluntário 5

Dorso

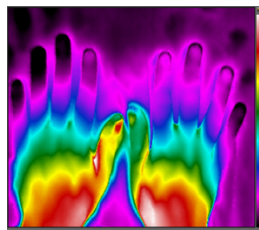


Superfície Palmar

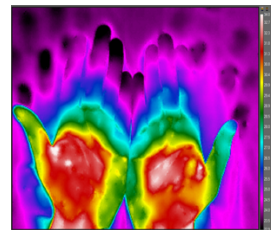


Voluntário 6

Dorso

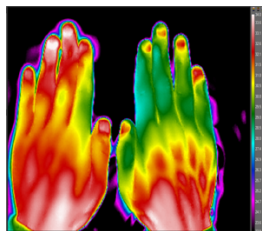


Superfície Palmar

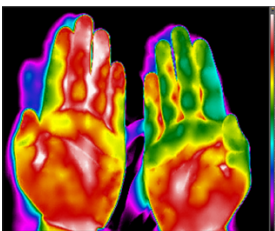


Voluntário 7

Dorso

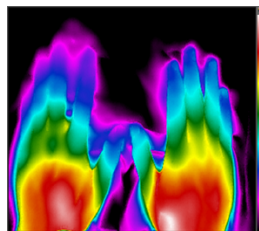


Superfície Palmar

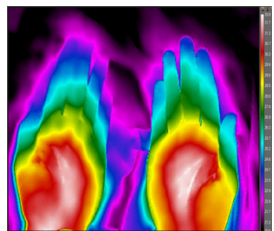


Voluntário 8

Dorso

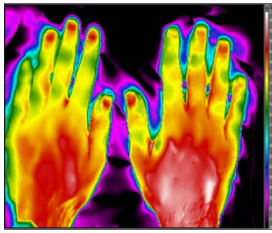


Superfície Palmar

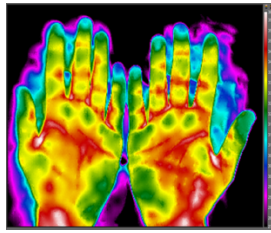


Voluntário 9

Dorso

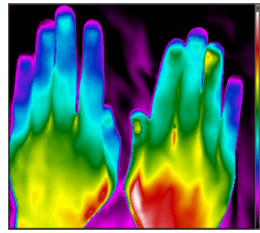


Superfície Palmar

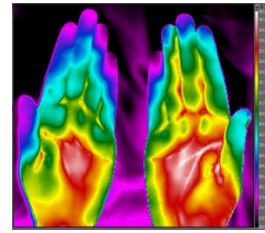


Voluntário 10

Dorso

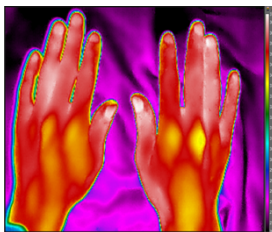


Superfície Palmar

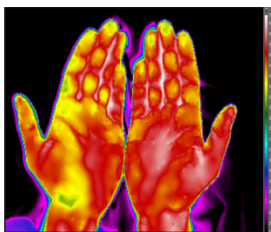


Voluntário 11

Dorso

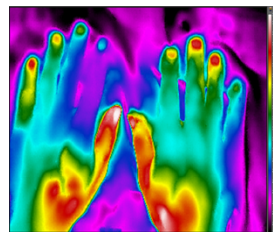


Superfície Palmar

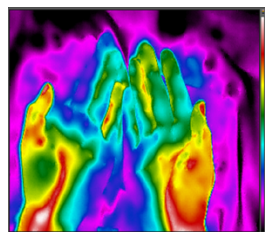


Voluntário 12

Dorso

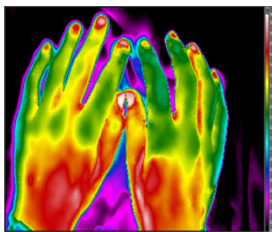


Superfície Palmar

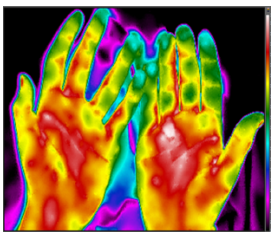


Voluntário 13

Dorso

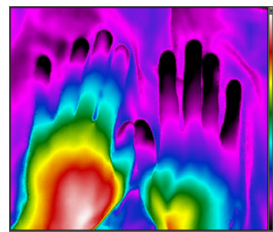


Superfície Palmar

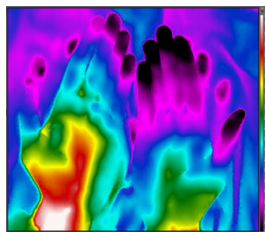


Voluntário 14

Dorso

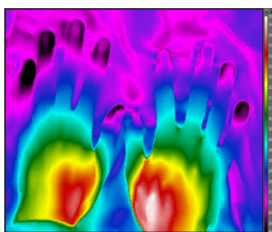


Superfície Palmar

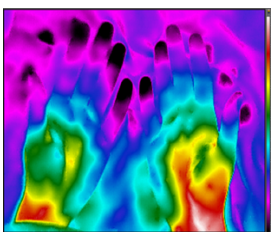


Voluntário 15

Dorso

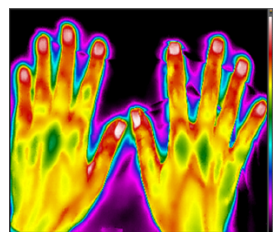


Superfície Palmar

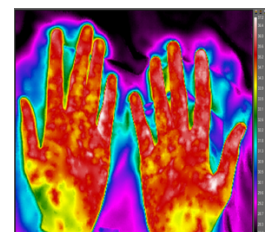


Voluntário 16

Dorso

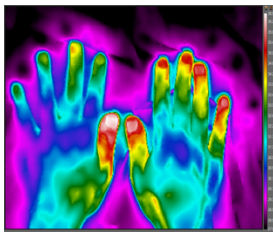


Superfície Palmar

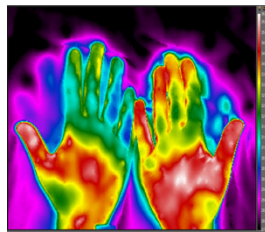


Voluntário 17

Dorso

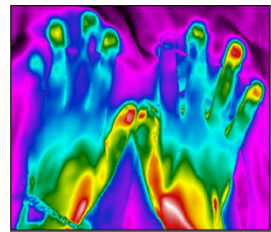


Superfície Palmar

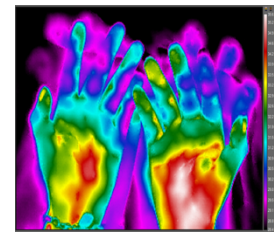


Voluntário 18

Dorso

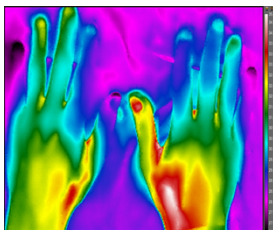


Superfície Palmar

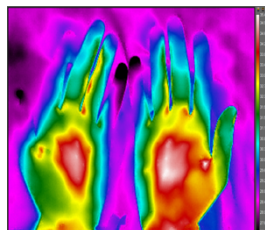


Voluntário 19

Dorso

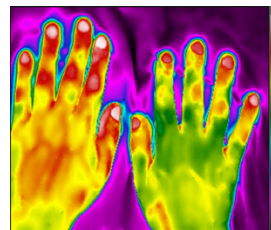


Superfície Palmar

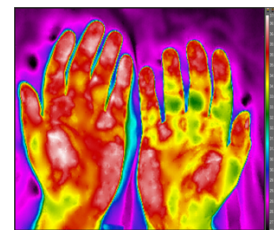


Voluntário 20

Dorso

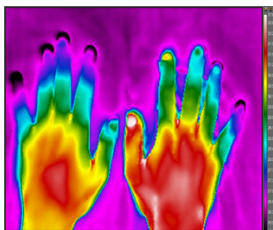


Superfície Palmar

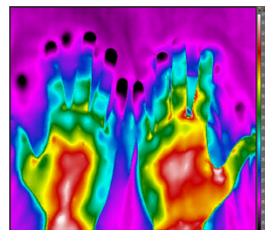


Voluntário 21

Dorso

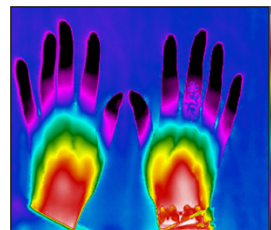


Superfície Palmar

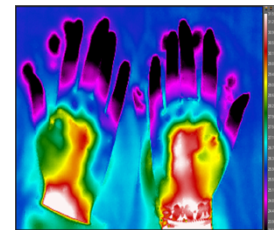


Voluntário 22

Dorso

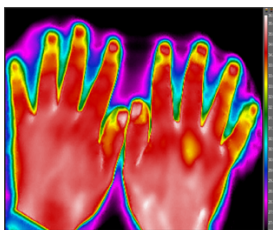


Superfície Palmar

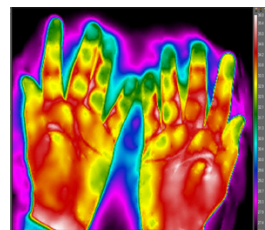


Voluntário 23

Dorso

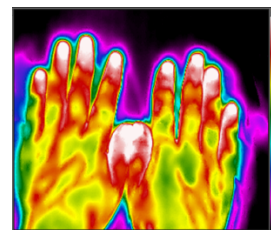


Superfície Palmar

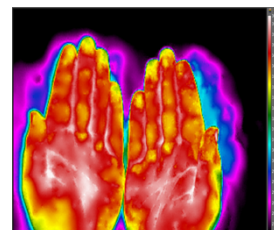


Voluntário 24

Dorso

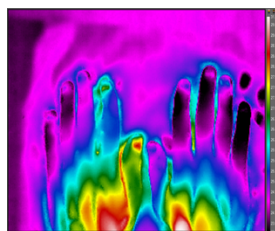


Superfície Palmar

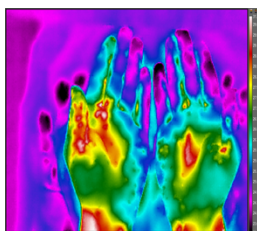


Voluntário 25

Dorso

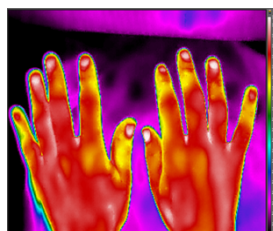


Superfície Palmar

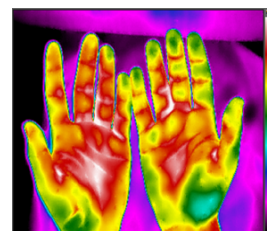


Voluntário 26

Dorso

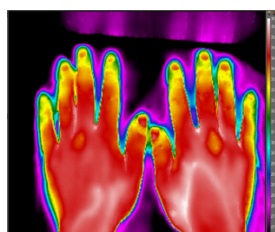


Superfície Palmar

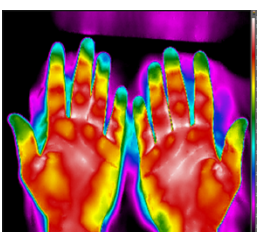


Voluntário 27

Dorso

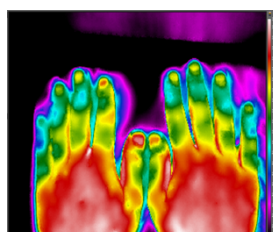


Superfície Palmar

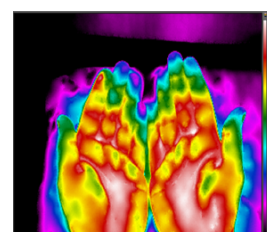


Voluntário 28

Dorso

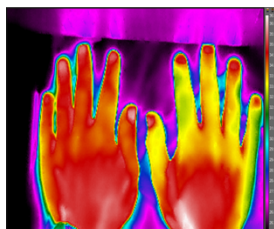


Superfície Palmar

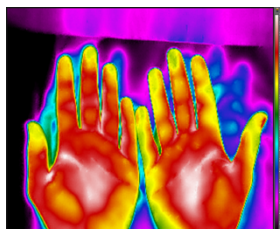


Voluntário 29

Dorso

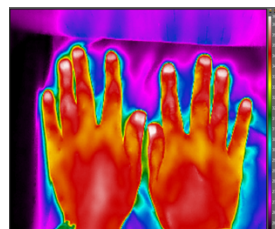


Superfície Palmar

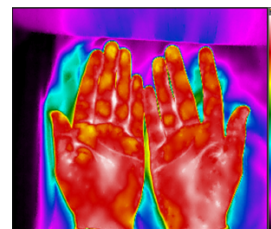


Voluntário 30

Dorso

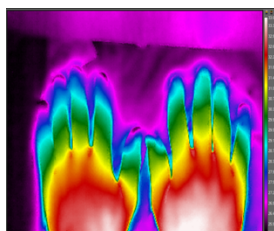


Superfície Palmar

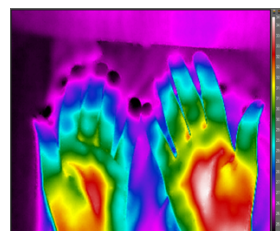


Voluntário 31

Dorso

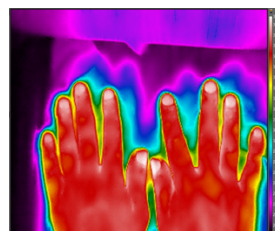


Superfície Palmar

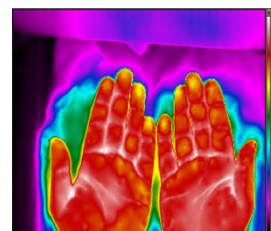


Voluntário 32

Dorso

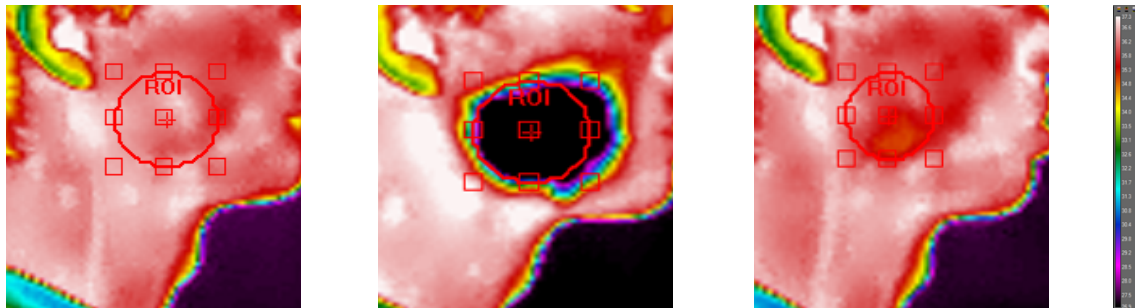


Superfície Palmar

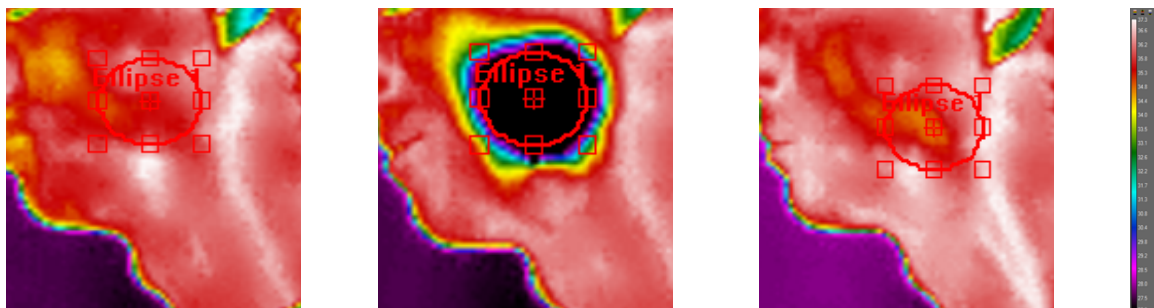


9.4. Termografia no Estudo da Dor Orofacial

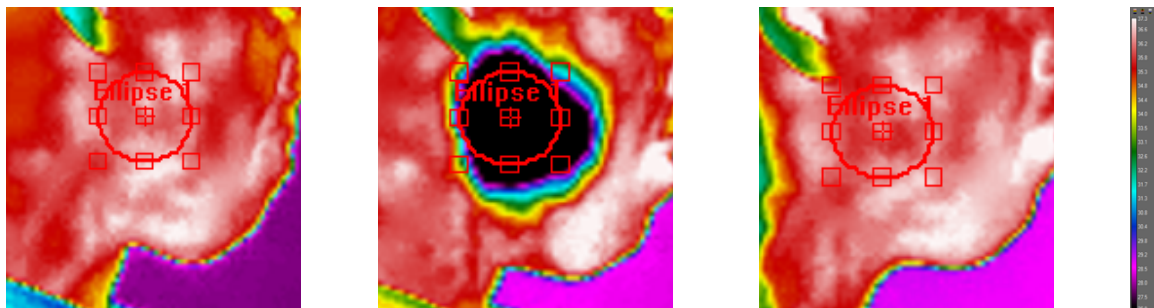
Voluntário 1 – Face Direita



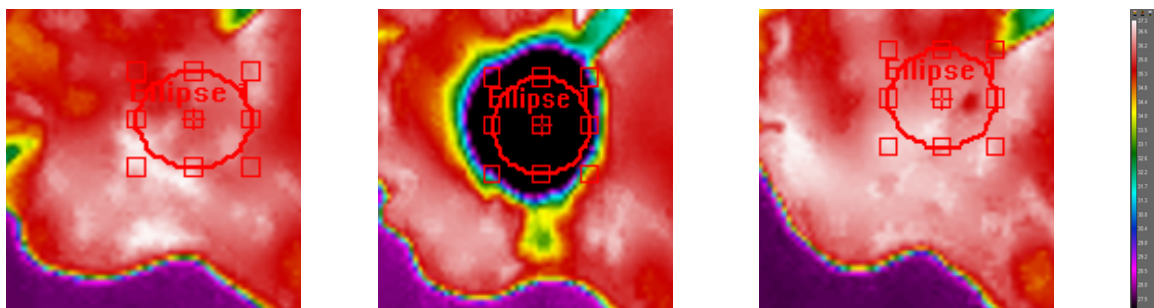
Voluntário 1 – Face Esquerda



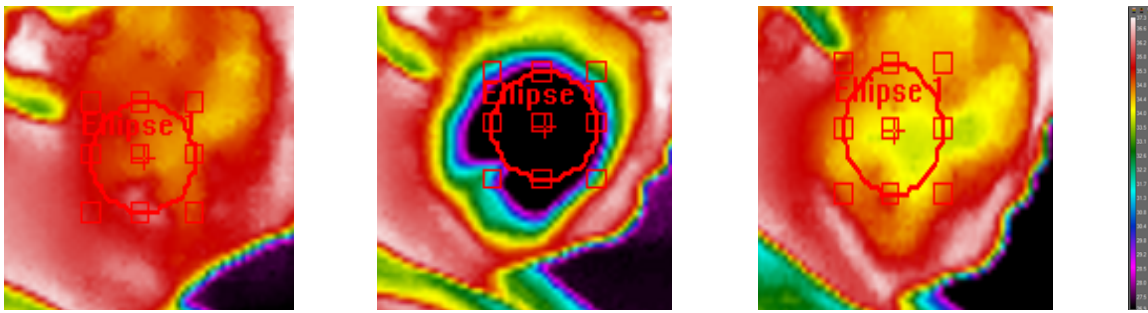
Voluntário 2 – Face Direita



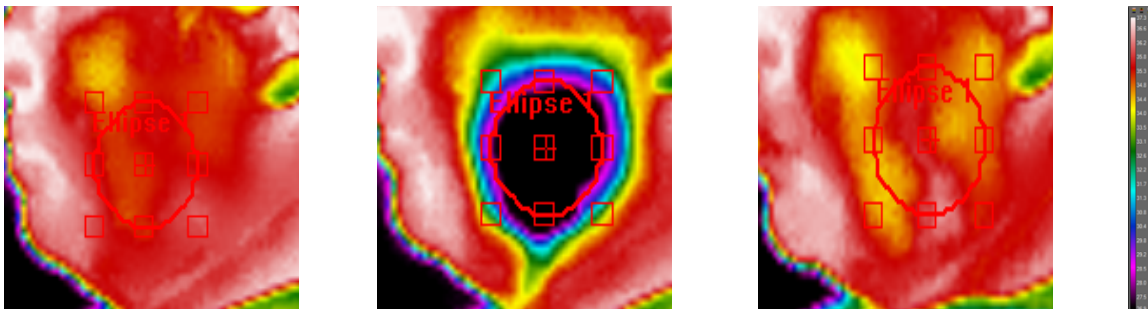
Voluntário 2 – Face Esquerda



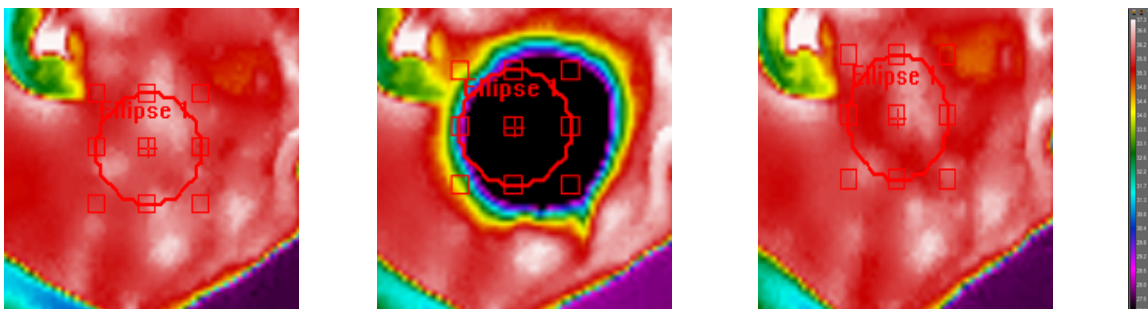
Voluntário 3 – Face Direita



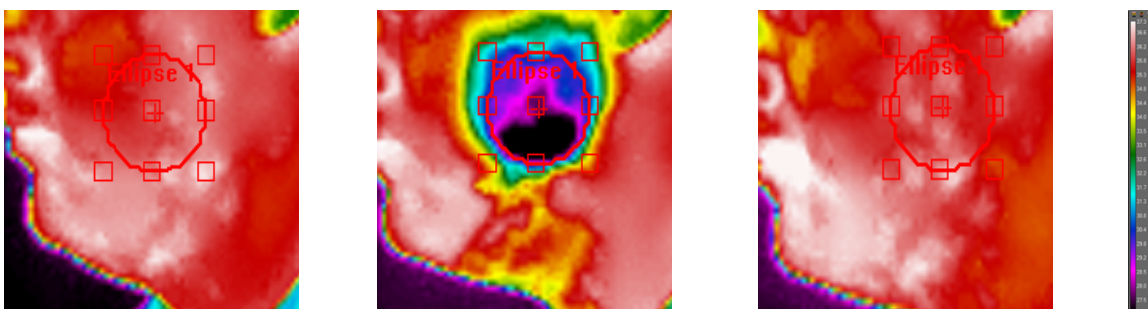
Voluntário 3 – Face Esquerda



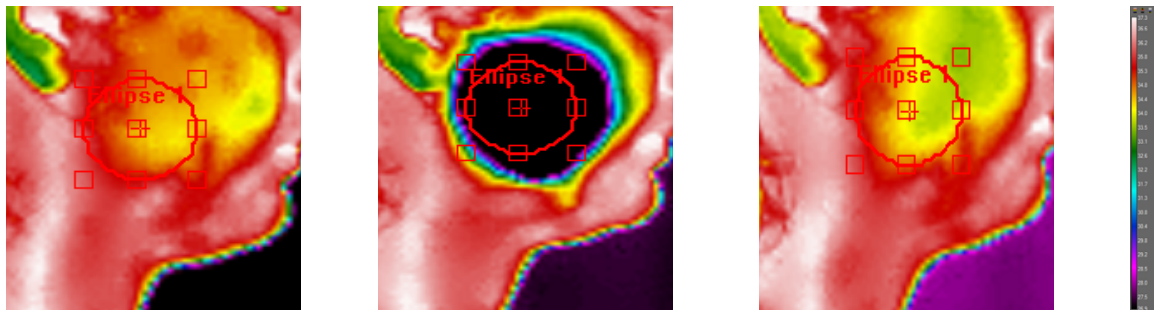
Voluntário 4 – Face Direita



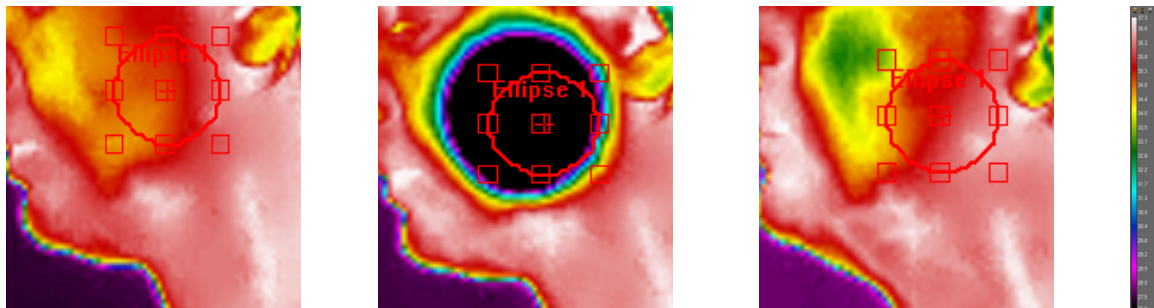
Voluntário 4 – Face Esquerda



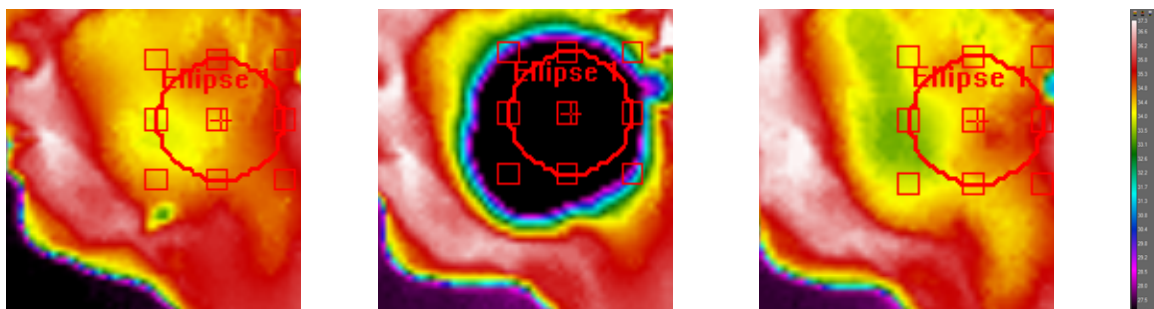
Voluntário 5 – Face Direita



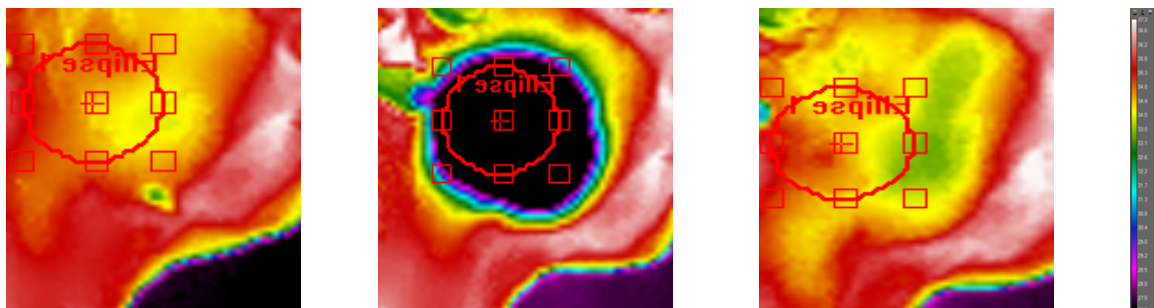
Voluntário 5 – Face Esquerda



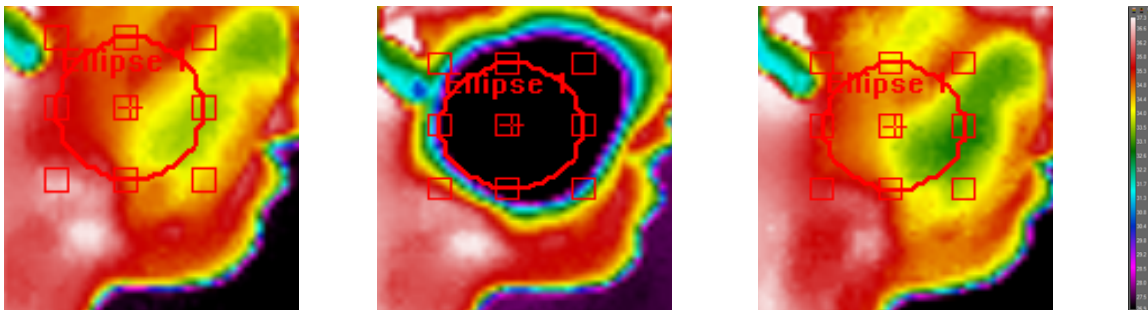
Voluntário 6 – Face Direita



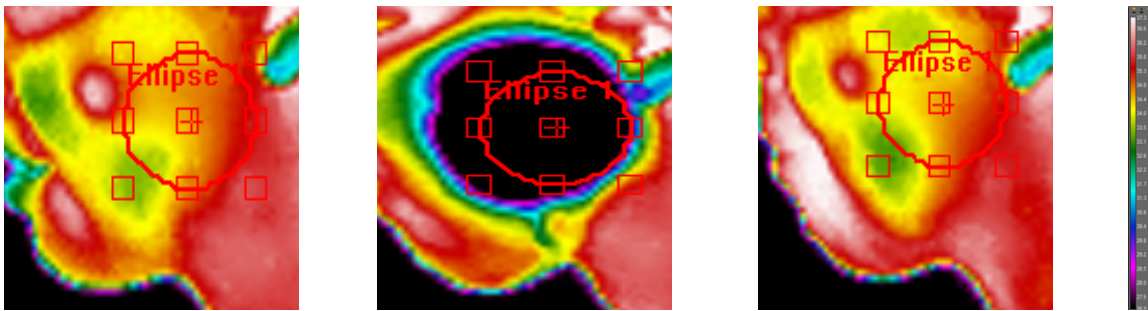
Voluntário 6 – Face Esquerda



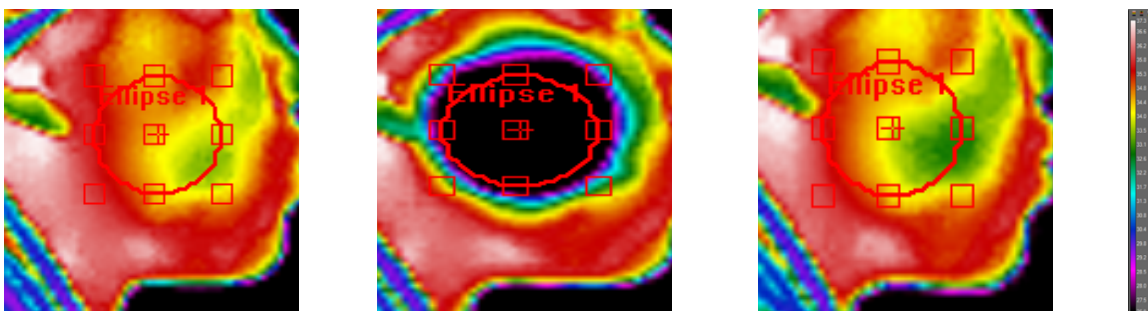
Voluntário 7 – Face Direita



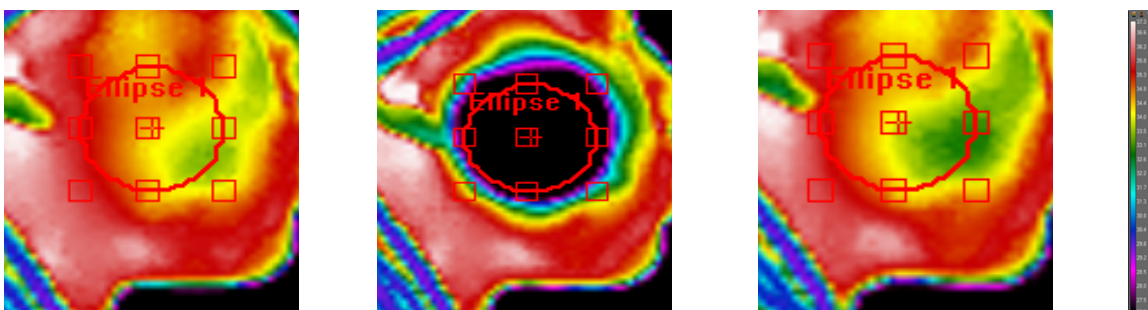
Voluntário 7 – Face Esquerda



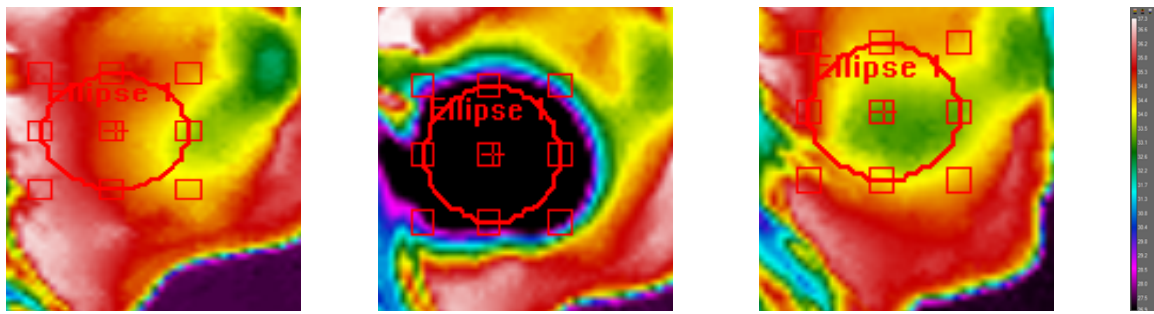
Voluntário 8 – Face Direita



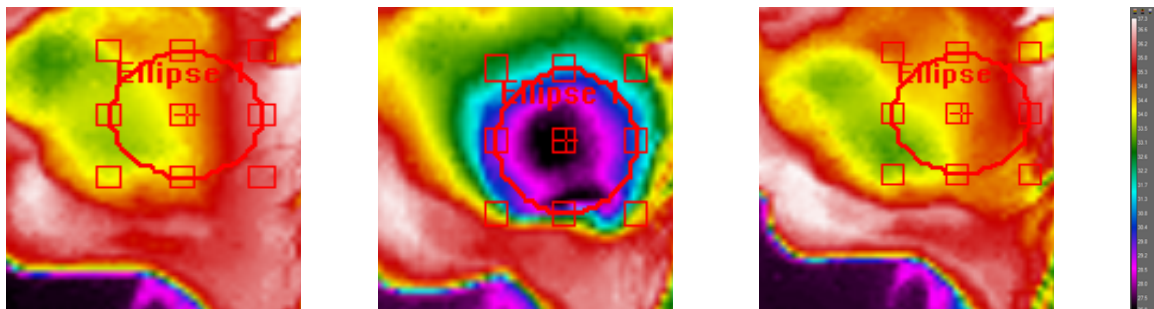
Voluntário 8 – Face Esquerda



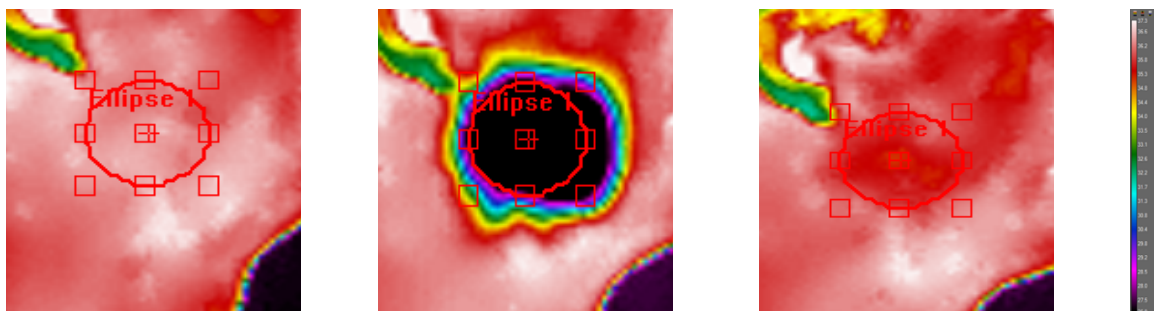
Voluntário 9 – Face Direita



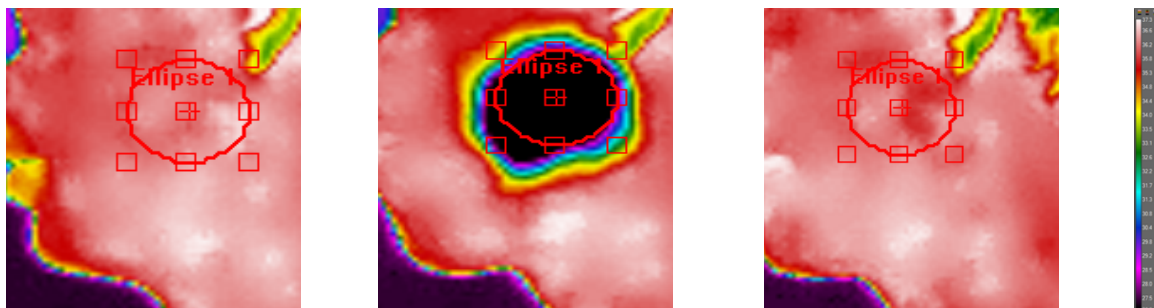
Voluntário 9 – Face Esquerda



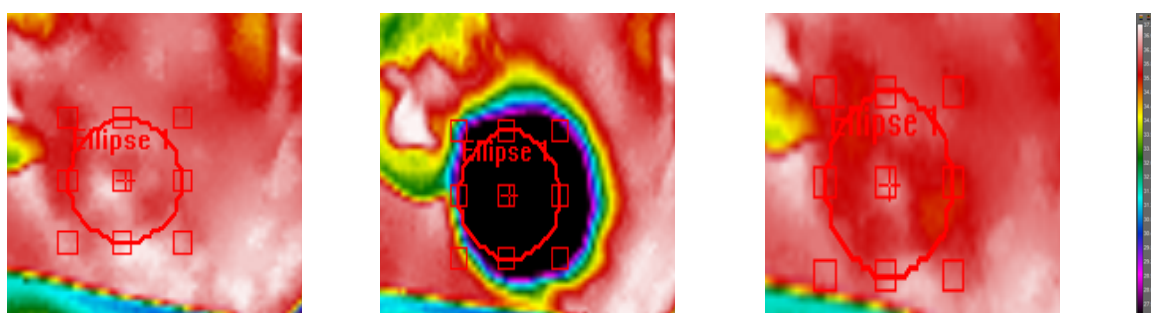
Voluntário 11 – Face Direita



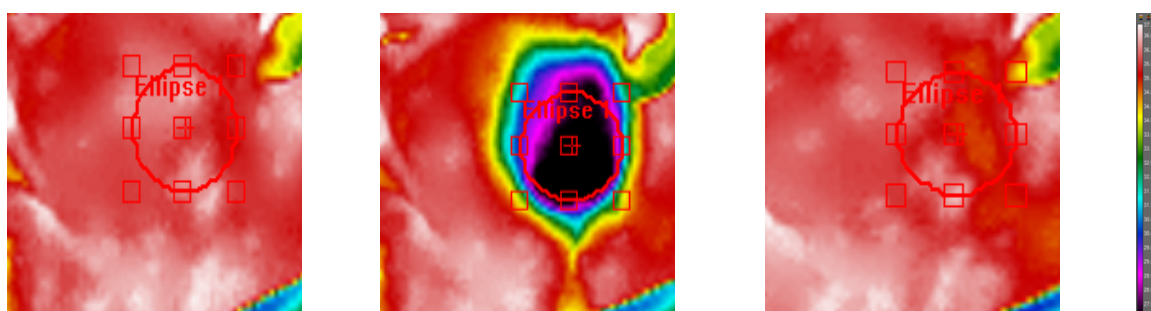
Voluntário 11 – Face Esquerda



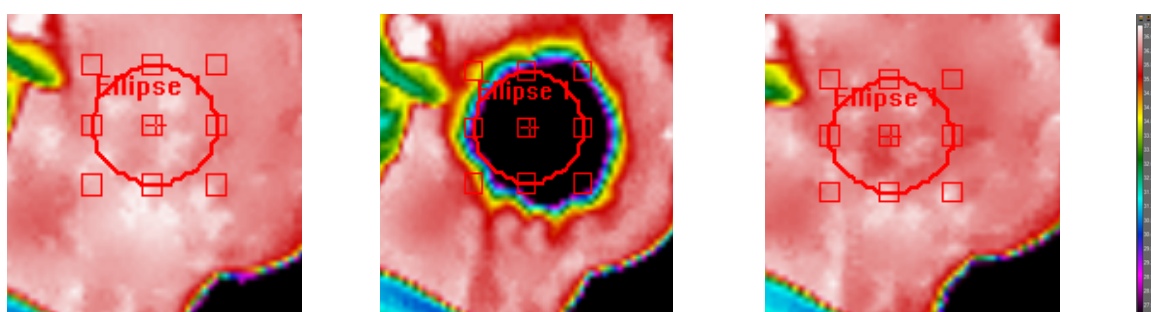
Voluntário 12 – Face Direita



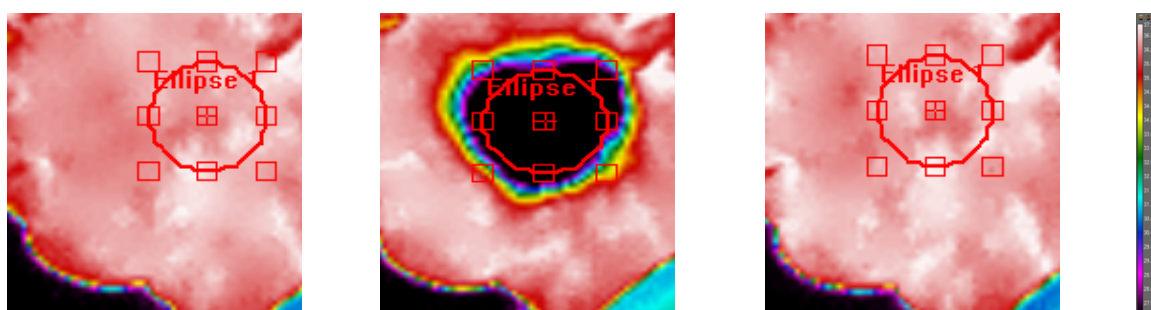
Voluntário 12 – Face Esquerda



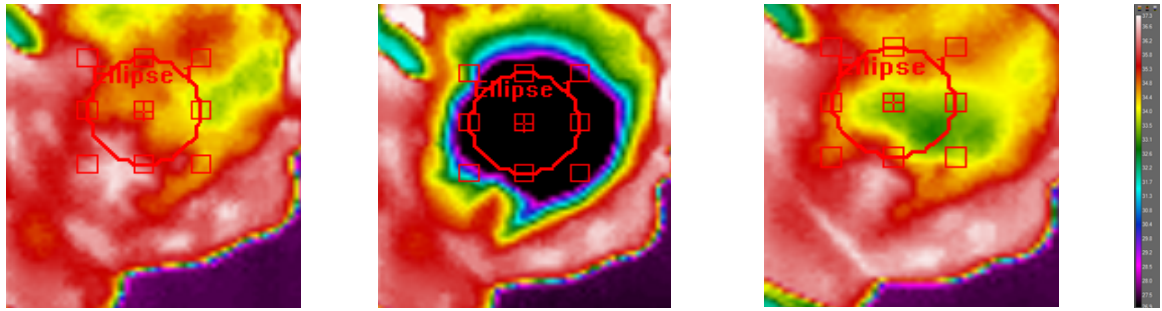
Voluntário 13 – Face Direita



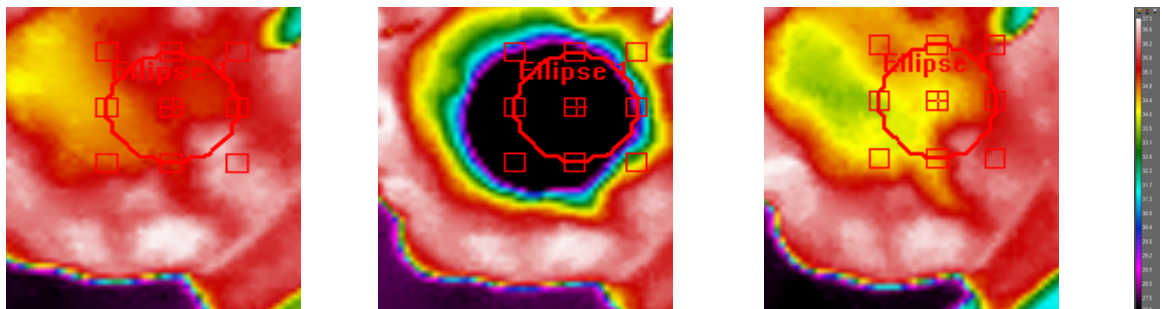
Voluntário 13 – Face Esquerda



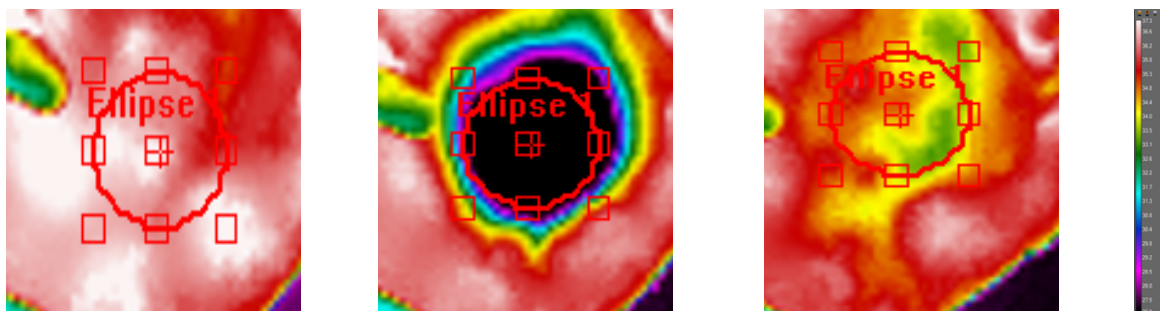
Voluntário 14 – Face Direita



Voluntário 14 – Face Esquerda



Voluntário 15 – Face Direita



Voluntário 15 – Face Esquerda

