

Termografia em Engenharia Biomédica

Ensaios Exploratórios

Marta Catarina Ferreira Martins

Relatório Final do Trabalho de Projeto apresentado à
Escola Superior de Tecnologia e Gestão
Instituto Politécnico de Bragança

para obtenção do grau de Mestre em
Tecnologia Biomédica

Julho de 2012

Termografia em Engenharia Biomédica

Ensaios Exploratórios

Marta Catarina Ferreira Martins

Relatório Final do Trabalho de Projeto apresentado à
Escola Superior de Tecnologia e Gestão
Instituto Politécnico de Bragança

para obtenção do grau de Mestre em
Tecnologia Biomédica

Orientador:

Professor Doutor Luís Frólén Ribeiro

Co-orientador:

Doutor Jorge Cury

Professor Doutor Manuel San Juan Blanco

Julho de 2012

Aos meus pais e irmã.

Resumo

Este trabalho teve como principal objetivo a realização de ensaios exploratórios usando a Termografia no âmbito da Medicina. Foram feitos ensaios de termografia em duas regiões do corpo humano: face e membros inferiores. O trabalho focou-se principalmente sobre os membros inferiores, onde se estudou e acompanhou cirurgias de varizes. Os ensaios foram executados em dois locais: o primeiro (articulação temporomandibular), foi feito na *Universidad de Valladolid*, Espanha, e o segundo (membros inferiores) no Instituto Politécnico de Bragança e na Unidade Local de Saúde de Bragança. Em cada um dos locais usaram-se câmaras distintas: InfraTec modelo ImageIR[®]3300 e FLIR[®] modelo T365.

Antecedem aos estudos clínicos a determinação dos métodos mais adequados para medir com esta tecnologia, onde se obtiveram tempos mínimos - 10 minutos - de aclimação dos indivíduos estudados. As imagens obtidas através da câmara termográfica dos casos clínicos de varizes foram avaliadas em equipa pluridisciplinar (engenheiros e médicos) para uma melhor análise e interpretação dos resultados.

Para cada caso clínico comparou-se ambos os membros inferiores, tendo-se verificado que em 75% dos casos houve um agravamento da perna saudável, e num dos casos houve o aparecimento de veias residuais. Concluiu-se que os exames termográficos regulares no pós-operatório permitem acompanhar a recuperação do membro operado, bem como a evolução do membro não operado. A Termografia mostrou-se fiável no diagnóstico desta patologia. Este trabalho levou à publicação de um artigo - *Diagnostic evaluation of chronic venous insufficiency cases using thermal imaging* - no *VII EAT Congress on Thermology*.

Palavras-chave: Termografia; Cirurgia; Varizes.

Abstract

The aim of this project is the exploratory use of thermography within Medicine. Thermography tests were made in two regions of the human body: face and inferior limbs. This project focused mainly on the inferior limbs, where varicose veins cases recommended for surgery were followed. The analyses were executed in two places: the first (temporomandibular joint), at Valladolid University, Spain; and the second (inferior limbs) at Polytechnic Institute of Bragança and at the Regional Hospital of Bragança. On each places different cameras were used : InfraTec ImageIR[®] 3300 model and FLIR[®] T365 model.

The most adequate steps to measure with this technology were determined prior to the clinical studies, where a minimum time of 10 minutes was obtained for the individuals to reach thermal equilibrium. A team of engineers and medical doctors, for a better analysis and interpretation of the results, evaluated the thermographic images.

For every clinical case both inferior limbs were compared, and it was found that in 75% of the cases there was an aggravation of the healthy leg. In one of the cases residual veins appear. It was concluded that regular thermographic exams on post-operative allow to accompany the recovery of the operated limb, as well as the evolution of the non-operated limb. Thermography has shown to be reliable on the diagnosis of this pathology. This project led to the publication of an article - *Diagnostic evaluation of chronic venous insufficiency cases using thermal imaging* - in *VII EAT Congress on Thermology*.

Keywords: Thermography; Surgery; Varicose Veins.

Agradecimentos

Ao Professor Doutor Luís Frólén, pelo apoio, modo estimulante e rigoroso com que me orientou apoiado sempre em críticas construtivas, pela disponibilidade e motivação que me transmitiu ao longo da realização deste trabalho.

Ao Professor Doutor Manuel San Juan Blanco, pela orientação, incentivo e ensinamentos no decorrer deste trabalho.

Aos professores da Escola de Engenharias Industriais da UVa - EII Paseo del Cauce - Professor Roberto López Ruiz, Professor Francisco Santos Martín, em especial à Professora Aurora Sánchez, por toda a atenção, auxílio e disponibilidade ao longo da elaboração do meu trabalho.

À Unidade Local de Saúde de Bragança, em especial ao Dr. Jorge Cury, na qualidade de chefe do Departamento de Cirurgia do Hospital pelo acesso aos pacientes, disponibilidade, cooperação e por ter facultado os conhecimentos de apoio ao diagnóstico de imagens térmicas.

À minha família, por todo o apoio que me têm dado ao longo deste percurso. Um agradecimento muito especial à minha irmã que sempre esteve presente e me ajudou, aconselhando-me e incentivando com carinho e dedicação.

A todos os meus colegas e amigos que estiveram envolvidos nos ensaios preliminares deste trabalho, por toda a atenção, paciência e disponibilidade.

Aos meus amigos e à Tóna Tuna, que me proporcionaram os melhores momentos de lazer ao longo deste percurso académico.

A todas as pessoas que direta ou indiretamente, estiveram envolvidos nesta fase da minha vida, e que me apoiaram na realização deste trabalho.

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento e Objetivos	1
1.2	Estrutura do Trabalho	2
1.3	Imagiologia	3
1.3.1	Eco-Doppler	4
1.4	Aplicações da Termografia	5
1.4.1	Aplicação da Termografia na Medicina	5
1.4.1.1	Varizes - O que são?	7
1.4.1.2	Safenectomia (<i>Sphenous Vein Stripping</i>)	9
1.5	Princípios Físicos	10
1.5.1	Radiação Infravermelha	10
1.5.2	Radiação de Corpo Negro	12
1.5.3	Emissividade da Pele	12
1.5.4	Equipamento Termográfico	13
1.5.4.1	Sensibilidade Térmica	14
1.5.4.2	Precisão	14
1.5.4.3	Resolução Óptica	14
1.5.4.4	Resolução Espacial	14
1.5.5	Lei de Cosseno	15
1.5.6	Características das Superfícies	16
2	Material e Métodos	17
2.1	Descrição do Material	17
2.1.1	Características das Câmaras	17
2.2	Parâmetros de ensaios com Termografia	19
2.2.1	Determinação e Definição do Protocolo Experimental	19
2.2.2	Temperatura Ambiente	20
2.2.3	Distância da Câmara ao Objeto	20
2.2.4	Modo de Fotografar Superfícies	21

3	Ensaaios	25
3.1	Ensaaios à Perna (Varizes)	26
3.2	Ensaaios à Articulação Temporomandibular	27
4	Resultados e Discussão	29
4.1	Ensaaios às Varizes	29
4.1.1	Testes Preliminares	29
4.1.1.1	Indivíduo Saudável 1	29
4.1.1.2	Indivíduo Saudável 2	30
4.1.1.3	Indivíduo Saudável 3	31
4.1.1.4	Indivíduo Saudável 4	31
4.1.2	Casos Clínicos	32
4.1.2.1	Caso 1	33
4.1.2.2	Caso 2	38
4.1.2.3	Caso 3	41
4.1.2.4	Caso 4	43
4.1.3	Marcação de Varizes	46
4.1.4	Discussão de Resultados	48
4.2	Ensaaios à Articulação Temporomandibular	49
5	Conclusões	53
5.1	Conclusões	53
5.2	Trabalhos Futuros	54
	Bibliografia	55

Lista de Figuras

1.1	Modalidades da Imagem Médica dentro do Espectro Eletromagnético [13].	4
1.2	Aplicações da Termografia [20].	5
1.3	Fluxo venoso anormal (válvula incompetente) [4].	7
1.4	Veias do membro inferior [7].	8
1.5	A - Sistema venoso magno (<i>GSV</i>); B - Sistema venoso parvo (<i>SSV</i>) [29].	9
1.6	Nomes das principais perfurantes entre o sistema venoso profundo e superficial [29].	9
1.7	<i>Stripping</i> da veia safena [5].	10
1.8	Espectro Eletromagnético e a região Infravermelha [23].	11
1.9	Absorção da radiação incidente num corpo negro [16].	12
1.10	Transferência radioativa entre a área de dois elementos [16].	15
1.11	Transferência de calor por emissão (ou absorção) de radiação eletromagnética.	15
1.12	Absorção, reflexão, e transmissão da radiação num corpo de espessura finita [16].	16
2.1	Câmara InfraTec modelo ImageIR [®] 3300, à esquerda, FLIR [®] T365, à direita	17
2.2	Posicionamento da câmara (ajuste da distância e ângulo) [28].	21
2.3	Secção.	21
2.4	Definição de secções para a recolha de imagens.	22
2.5	Perna com e sem pano preto atrás.	22
2.6	Apoio para a face.	23
2.7	Apoio de cabeça para os ensaios à ATM.	23
3.1	Exemplos de imagens térmicas da face.	26
3.2	Identificação de patologias em pernas. À esquerda: imagem recolhida com a câmara ImageIR 3300; à direita: imagem recolhida com a câmara FLIR T365.	27
3.3	Representação da linha na face.	28

4.1	Perna direita do indivíduo saudável 1 (vários ângulos - deitado).	30
4.2	Perna direita do indivíduo saudável 1 (vários ângulos - em pé).	30
4.3	Perna direita do indivíduo saudável 1 (rotação do pano preto).	30
4.4	Perna direita do indivíduo saudável 2 (rotação do pano preto).	31
4.5	Perna direita do indivíduo saudável 3 (rotação do pano preto).	31
4.6	Perna direita do indivíduo saudável 4 (rotação do pano preto).	31
4.7	Desenvolvimento de um Protocolo de Termografia.	32
4.8	Perna direita do caso 1 (antes e depois da cirurgia - deitada).	34
4.9	Composição de imagens da perna direita (Original e Térmica - antes e depois da cirurgia).	35
4.10	Marcação das varizes.	36
4.11	Perna esquerda antes e depois da cirurgia da perna direita.	36
4.12	Perna esquerda. Evolução da variz antes e depois da cirurgia da perna direita.	37
4.13	Semelhança de triângulos.	37
4.14	Perna esquerda do caso clínico 2 - deitado. A circunferência realça uma saliência da veia.	39
4.15	Perna esquerda do caso clínico 2 - de pé (antes e depois da cirurgia).	39
4.16	Perna esquerda do caso clínico 2 - deitado (antes e depois da cirurgia).	40
4.17	Perna direita do caso clínico 2 - deitado.	40
4.18	Perna direita do caso clínico 2 - em pé (antes e depois da cirurgia).	41
4.19	Perna direita. Evolução da variz antes e depois da cirurgia.	41
4.20	Perna esquerda do caso 3 antes da cirurgia (vários ângulos - deitada).	43
4.21	Perna esquerda antes e depois da cirurgia e marcação respectivamente (vista posterior).	43
4.22	Perna direita do caso clínico 4 (vários ângulos - deitado).	45
4.23	Perna direita do caso clínico 4 antes e depois da cirurgia (vistas lateral, anterior e posterior respectivamente).	45
4.24	Perna esquerda do caso clínico 4 (vista lateral e anterior respectivamente).	46
4.25	Marcações das varizes do caso 1.	47
4.26	Marcações das varizes do caso 4.	48
4.27	Evolução da temperatura ao longo do eixo de simetria (indivíduo 1).	50
4.28	Evolução da temperatura ao longo do eixo de simetria (indivíduo 2).	51
4.29	Evolução da temperatura ao longo do eixo de simetria (indivíduo 3).	51
4.30	Evolução da temperatura ao longo do eixo de simetria (indivíduo 4).	52
5.1	Perna esquerda do indivíduo saudável 1 (vários ângulos - deitado).	i
5.2	Perna esquerda do indivíduo saudável 1 (vários ângulos - em pé).	i

5.3	Perna esquerda do indivíduo saudável 1 (rotação do pano preto). . . .	ii
5.4	Perna direita do indivíduo saudável 2 (vários ângulos - deitado). . . .	ii
5.5	Perna direita do indivíduo saudável 2 (vários ângulos - em pé). . . .	ii
5.6	Perna esquerda do indivíduo saudável 2 (vários ângulos - deitado). . .	ii
5.7	Perna esquerda do indivíduo saudável 2 (vários ângulos - em pé). . .	iii
5.8	Perna esquerda do indivíduo saudável 2 (rotação do pano preto). . . .	iii
5.9	Perna direita do indivíduo saudável 3 (vários ângulos - deitado). . . .	iii
5.10	Perna direita do indivíduo saudável 3 (vários ângulos - em pé). . . .	iii
5.11	Perna esquerda do indivíduo saudável 3 (vários ângulos - deitado). . .	iv
5.12	Perna esquerda do indivíduo saudável 3 (vários ângulos - em pé). . .	iv
5.13	Perna esquerda do indivíduo saudável 3 (rotação do pano preto). . . .	iv
5.14	Perna direita do indivíduo saudável 4 (vários ângulos - deitado). . . .	iv
5.15	Perna esquerda do indivíduo saudável 4 (vários ângulos - deitado). . .	v
5.16	Perna direita do indivíduo saudável 4 (vários ângulos - em pé). . . .	v
5.17	Perna esquerda do indivíduo saudável 4 (vários ângulos - em pé). . .	v
5.18	Perna esquerda do indivíduo saudável 4 (rotação do pano preto). . . .	vi
5.19	Perna esquerda do caso clínico 1 (vários ângulos - deitada)	vi
5.20	Perna esquerda do caso clínico 1 (deitado).	vii
5.21	Perna direita do caso clínico 3 (vários ângulos - deitada).	vii
5.22	Perna esquerda do caso clínico 4 (vários ângulos - deitado)	vii

Lista de Tabelas

1.1	Aplicações Médicas da Termografia [6].	6
1.2	Sub-regiões da radiação infravermelha [27].	11
2.1	Características da Câmara InfraTec ImageIR [®] 3300 [14].	18
2.2	Características da Câmara FLIR [®] T365 [10].	19
4.1	Comparação do comprimento da variz - Estrutura 1.	38
4.2	Comparação do comprimento da variz - Estrutura 2.	38
4.3	Comparação do comprimento da variz (caso 2).	41
4.4	Tempo de aclimação da face (lado direito).	50
4.5	Tempo de aclimação da face (lado esquerdo).	50
4.6	Diferença média de temperatura nos dois lados da cara.	52

Lista de Abreviaturas

ATM	Articulação Temporomandibular
EII	Escuela de Ingenierías Industriales
GSV	Great Saphenous Vein
IPB	Instituto Politécnico de Bragança
RM	Ressonância Magnética
SSV	Small Saphenous Vein
TC	Tomografia Computorizada
ULS NE	Unidade Local de Saúde do Nordeste
UVa	Universidad de Valladolid

Capítulo 1

Introdução

1.1 Enquadramento e Objetivos

Nos tempos mais remotos da história, antigos filósofos e gregos fascinaram-se com a relação entre o calor e a vida, e tentaram então perceber os modos como o calor era libertado do corpo. Hipócrates na Grécia antiga notou pelo tato que existiam variações de temperatura em diferentes zonas do corpo humano. Segundo a tradução inglesa da sua obra [23];

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

A tecnologia aplicada à termografia apenas teve início no ano de 1800 com a descoberta da radiação infravermelha por Frederick William Hershel (astrónomo inglês de origem alemã). Em 1840 surge a primeira imagem térmica por John Hershel, filho de Frederick William Hershel, que consegue demonstrar que o calor pode ser captado sob a forma de imagem [25].

A Engenharia Biomédica, encontra-se em franca expansão com os seus profissionais perfeitamente integrados dentro dos sistemas de saúde em países tecnológica e economicamente desenvolvidos. Em Portugal, nos últimos anos, começou a notar-se uma clara tendência de inclusão destes técnicos superiores nas unidades de saúde [18]. Um grande avanço nas ciências biomédicas tem acelerado a introdução de novas tecnologias de imagiologia nos últimos anos.

Os hospitais têm vindo a estabelecer departamentos centralizados de engenharia clínica/biomédica usando estes profissionais para fornecer à administração hospitalar uma opinião objetiva e fundamentada sobre as funções dos equipamentos, e as suas vantagens comparativamente a outros equipamentos de função similar [18].

Uma das manifestações de insuficiência venosa, ou refluxo venoso, mais comuns são as varizes. Elas são a fonte de dor e desconforto e podem exigir tratamento médico, sendo a opção mais extrema a cirurgia para a remoção, ou fecho da veia

afetada. A opção cirúrgica é considerada de acordo com a severidade do sintoma, o tipo de veia e a fonte do refluxo venoso. O exame clínico é também suportado por exames ao sangue, sondas de Eco-Doppler ou outros estudos imagiológicos a fim de avaliar com precisão todos os locais onde possa ocorrer refluxo venoso [19].

A Termografia apresenta-se em aplicações médicas mais como uma ferramenta funcional do que anatômica comparada com outras técnicas de imagem. Este estudo mostra a fase de exploração precoce de casos de varizes recomendados para safenectomia no Departamento de Cirurgia do ULS Hospital de Bragança, Portugal [19].

Este trabalho teve como objetivo a realização de ensaios exploratórios de Termografia na área da Engenharia Biomédica, determinando o domínio dos procedimentos e técnica da termografia, como tirar fotos, fazer o tratamento digital, fazer configurações, afinações, etc.

O presente trabalho foi desenvolvido em 2 fases: uma primeira na *Universidad de Valladolid* em Espanha e a segunda no Instituto Politécnico de Bragança (IPB). Na primeira fase, durante a estadia em Espanha na mobilidade Erasmus, a ideia inicial era usar a Termografia no estudo de distúrbios na Articulação Temporomandibular (ATM). No entanto, devido a problemas burocráticos com o Hospital Universitário de Salamanca, que iria fornecer o acesso a casos clínicos, não foi possível explorar este caminho. Na segunda fase do trabalho que se realizou no IPB, surgiu a ideia de estudar patologias dos membros inferiores, como as varizes, ao tentar identificar outras partes do corpo com a câmara termográfica. Realizaram-se testes preliminares para desenvolver um protocolo experimental adequado à superfície a estudar, e analisaram-se casos clínicos com o apoio do Departamento de Cirurgia da ULS NE de Bragança.

Na elaboração deste trabalho verificou-se que a Termografia foi uma técnica muito útil na patologia estudada, sendo fácil de manusear, e fiável no diagnóstico da patologia. A partir desta técnica conseguiu verificar-se se a cirurgia tinha sido bem sucedida ou não, e foi capaz de identificar varizes que não tinham sido identificadas antes com o exame médico Eco-Doppler. Este trabalho levou à publicação de um artigo - *Diagnostic evaluation of chronic venous insufficiency cases using thermal imaging* - no *VII EAT Congress on Thermology*, sendo a principal área de interesse a medicina.

1.2 Estrutura do Trabalho

O presente trabalho encontra-se dividido em 5 capítulos.

No Capítulo 1 é feita uma introdução à temática onde se apresentam os fundamentos teóricos e princípios físicos da termografia e se destaca a sua aplicação na Medicina. Apresenta-se também uma breve introdução à patologia estudada, as varizes.

O Capítulo 2 faz a descrição dos parâmetros de ensaio, do material usado, e os métodos estabelecidos para a realização deste trabalho, bem como o desenvolvimento e adequação de um protocolo de trabalho ao tipo de ensaios realizados.

No Capítulo 3 descreve os ensaios realizados às varizes e à articulação temporomandibular, mostrando algumas imagens preliminares obtidas pelas câmaras termográficas usadas neste trabalho.

No Capítulo 4 são apresentados, interpretados e discutidos os resultados obtidos, tanto dos indivíduos saudáveis como de casos clínicos com varizes.

O Capítulo 5 reúne as conclusões do trabalho além das sugestões de trabalhos futuros.

1.3 Imagiologia

A imagiologia é na atualidade uma especialidade cada vez com mais peso no diagnóstico médico assumindo uma posição de relevo na medicina contemporânea. Integrando diferentes técnicas de imagem como a radiologia convencional, a ultrasonografia, a tomografia computadorizada e a ressonância magnética, com estas desenvolveu a chamada radiologia de intervenção que visa obter uma finalidade diagnóstica, já que sob controlo de imagem em qualquer das técnicas referidas permite a recolha de "material" do local anatómico preciso, onde se encontra a patologia, mas também uma finalidade terapêutica como por exemplo na drenagem de abscessos, hematomas, quistos, etc [30].

A figura 1.1 mostra um resumo das modalidades de imagem médica dentro do espectro eletromagnético, onde se verificam diferentes tipos de exame de diagnóstico de baixa e alta energia. A imagem mostra em que comprimento de onde se situa cada tipo de exame, bem como a informação que este fornece.

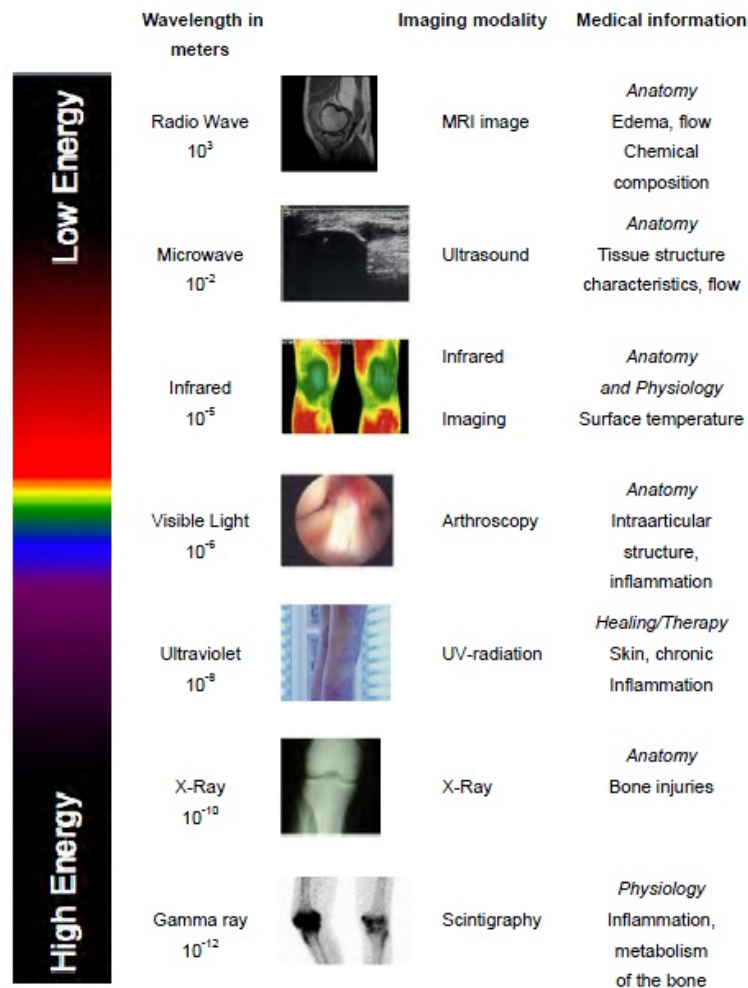


Figura 1.1: Modalidades da Imagem Médica dentro do Espectro Eletromagnético [13].

Para avaliar a patologia estudada neste trabalho foram abordadas duas técnicas. Dentro dos métodos de diagnóstico do sistema venoso dos membros inferiores, o mais utilizado é o Eco-Doppler por ser não-invasivo.

1.3.1 Eco-Doppler

A ecografia doppler dos membros inferiores permite avaliar a circulação sanguínea tanto nas artérias (eco-doppler arterial) como nas veias (eco-doppler venoso) que levam e trazem, respetivamente, o sangue às extremidades inferiores. O eco-doppler venoso permite verificar se existe uma obstrução numa veia da perna. Este tipo de obstruções é geralmente causado por coágulos de sangue, que podem ser perigosos e mesmo potencialmente fatais no caso de se libertarem e se deslocarem através da circulação sanguínea até aos pulmões (tromboembolia pulmonar). Se uma pessoa sentir dores ou apresentar edema (inchaço) numa perna, o médico pode pedir uma ecografia para determinar se os sintomas são causados por uma obstrução. Com o eco-doppler venoso também é possível avaliar se as válvulas que existem dentro

das veias, e que são responsáveis por direcionar o sangue de volta ao coração, estão a funcionar corretamente. Quando estas válvulas não funcionam bem podem dar origem às varizes [8].

O exame consiste em espalhar uma porção de gel na face interna de uma das coxas do doente para ajudar o sensor de ecografia a deslizar facilmente e a captar melhores imagens. O examinador pressiona firmemente o sensor contra a pele com poucos centímetros de intervalo para verificar se as veias mudam de forma com a pressão. Em seguida, avalia o outro membro inferior da mesma forma. À medida que o aparelho mede o fluxo de sangue através da veia, produz um som assobiante sincronizado com o ritmo dos batimentos cardíacos. Este exame geralmente demora 15 a 30 minutos [8].

1.4 Aplicações da Termografia

Sendo a termografia por infravermelhos um exame não invasivo, e devido às suas características não destrutivas, o recurso a esta técnica tem sido empregue em variadas aplicações nas mais diversas áreas. Os sistemas de termografia por infravermelhos têm-se tornado ao longo dos anos cada vez mais leves e compactos, aumentando assim o campo de atuação pois podem ser facilmente transportados [27]. A termografia pode ser aplicada na construção civil, na indústria automóvel, em fornos, na eletrónica em instalações elétricas, na indústria, na medicina humana e veterinária, na aeronáutica, vigilância e segurança, em dispositivos mecânicos, entre muitos outros exemplos.

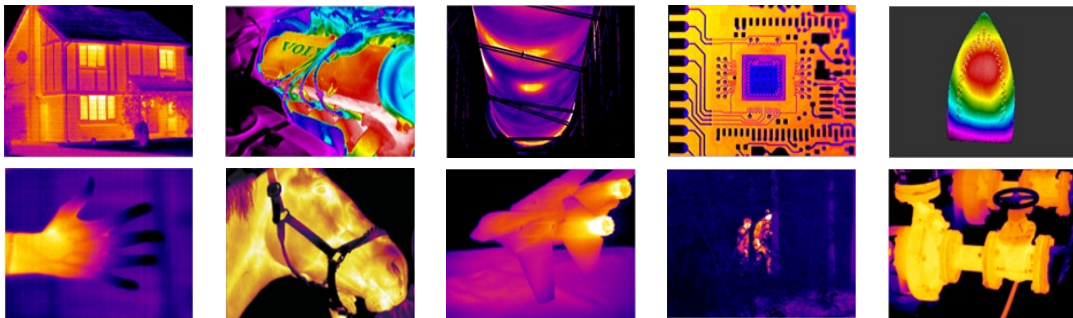


Figura 1.2: Aplicações da Termografia [20].

1.4.1 Aplicação da Termografia na Medicina

Sendo a termografia uma técnica não-invasiva, não radiante, rápida e indolor, capaz de detetar as mudanças fisiológicas do corpo humano, o recurso a esta técnica na área médica tem vindo a aumentar. Atualmente esta técnica é utilizada como meio de diagnóstico e controlo na evolução da doença em várias especialidades médicas.

As mais proeminentes são a oncologia (cancro da mama, da pele, etc.), desordens vasculares (diabetes - Deep Venous Thrombosis (DVT), etc.), dor, cirurgia, desordens respiratórias (recentemente introduzidas para testes de SARS (Severe Acute Respiratory Syndrome), como estão listadas na tabela 1.1 [6].

Tabela 1.1: Aplicações Médicas da Termografia [6].

Aplicações da Termografia
Oncologia (cancro da mama, pele, etc.)
Dor (controlo)
Desordens Vasculares
Artrite/Reumatismo
Neurologia
Cirurgia
Oftalmologia
Viabilidade dos Tecidos
Desordens Dermatológicas
Monitorização da eficácia de drogas e terapias
Tiróide
Odontologia
Sistema Respiratório (alergias)
Medicina da Reabilitação e do Desporto

A primeira aplicação da imagem térmica na medicina documentada foi em 1956, quando pacientes com cancro da mama foram examinados detetando-se pontos quentes assimétricos no peito. Desde então a aplicação da tecnologia infravermelha foi cada vez mais usada como prática principal de deteção de cancro da mama [22].

Os tumores têm geralmente um aumento de fornecimento de sangue e um aumento na taxa metabólica o que conduz a um aumento da temperatura localizada nessas áreas, sendo possível visualizar através da termografia. Um estudo conduzido por Spitalier fotografou 61000 casos num período superior a 10 anos usando a termografia descobrindo que a esta técnica foi um indicador precoce de cancro da mama em 60% dos casos. À parte da termografia estão disponíveis outros meios de diagnóstico como a mamografia, RM, TC, ultrasom, etc [17].

A termografia tem sido usada no estudo de doenças vasculares periféricas. O gradiente de temperatura indica um fluxo sanguíneo anormal nas regiões afetadas. O fluxo sanguíneo pode ser avaliado através de várias técnicas, sendo uma delas o Eco-Doppler, mas a termografia tem a vantagem de ser não-invasiva, rápida, sem contacto e completamente segura tanto para os pacientes como para quem faz o exame [2].

Em diagnósticos clínicos a termografia é usada para avaliar as mudanças fisiológicas que podem ser causadas por patologias como as referidas na tabela 1.1. Estas doenças são comumente associadas a vasodilatações locais, hipertermia, hi-

perfusão, hipermetabolismo e hipervascularização que gera fontes de temperatura elevada [2].

A gordura, em contraste com o músculo, é pobre em relação à condutividade térmica mas boa isoladora. Nos termogramas, a pele sobre gordura aparece mais fria do que a pele sobre músculo. A pele sobre estruturas ósseas, como os joelhos, aparece fria por causa da ausência de tecido mole subsuperficial, tal como o cabelo que é avascular, e por isso aparece frio nos termogramas (“cold spots” – pontos frios). Por outro lado, pele sobre músculo, grandes veias, nódos negros, hematomas, infecções, e ferimentos aparece quente (“hot spots” – pontos quentes). Cicatrizes muito grandes, e quistos esterilizados aparecem frios como resultado do baixo metabolismo e uma relativa avascularidade [26].

1.4.1.1 Varizes - O que são?

O fluxo normal do sangue através do membro inferior ocorre da pele e tecidos subcutâneos para as veias superficiais, que drenam através das veias perforantes para veias profundas, que por sua vez, drenam para as veias ilíacas e veia cava inferior. O fluxo normal do sangue pelo sistema venoso depende da presença de válvulas competentes, que impedem o refluxo. O retorno venoso é complementado com a contração dos músculos no membro inferior, que bombeiam o sangue na direção do coração. Quando as válvulas venosas se tornam incompetentes, elas tendem a impor uma pressão extra sobre as válvulas mais distais, que também podem tornar-se incompetentes (figura 1.3). Esta condição produz veias superficiais tortuosas e dilatadas (veias varicosas ou varizes) na distribuição dos sistemas venosos safenos magno (*GSV - Great Saphenous Vein*) e parvo (*SSV - Small Saphenous Vein*) [7].

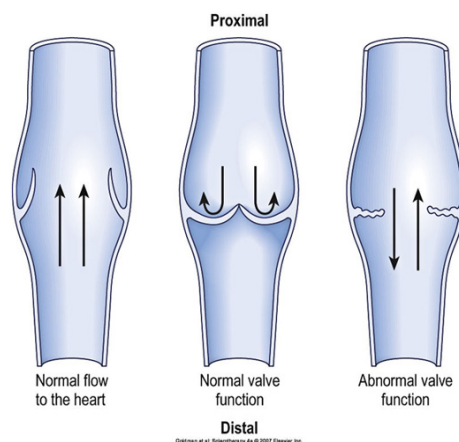


Figura 1.3: Fluxo venoso anormal (válvula incompetente) [4].

As veias varicosas ocorrem mais comumente em mulheres do que em homens, sendo que os sintomas geralmente são agravados pela gestação. Alguns indivíduos apresentam predisposição genética para desenvolver varizes. As válvulas também podem ser destruídas por uma trombose venosa profunda se o coágulo incorporar a válvula até os seus interstícios. Durante o processo de cicatrização e recanalização, a válvula é destruída, deixando-a incompetente [7]. Na figura 1.4 estão representadas as artérias e as veias que constituem os membros inferiores.

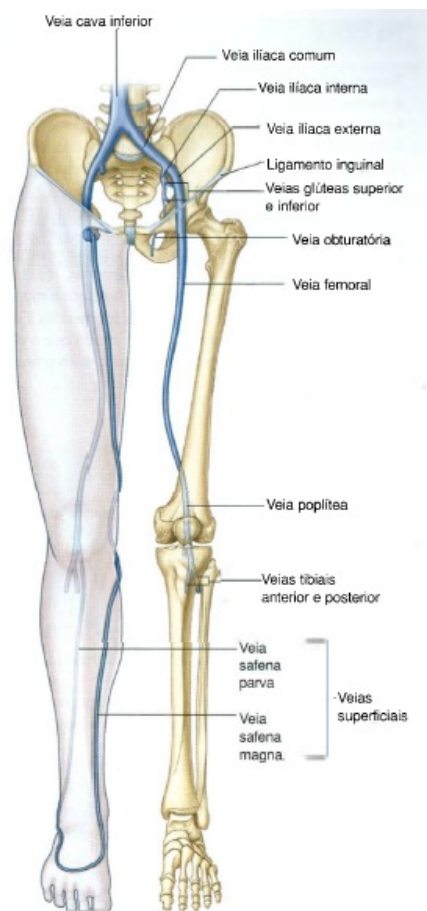


Figura 1.4: Veias do membro inferior [7].

Para além da veia principal, há outras veias comunicantes do sistema venoso magno e parvo (figura 1.5), e as principais perfurantes entre o sistema venoso profundo e superficial (figura 1.6).

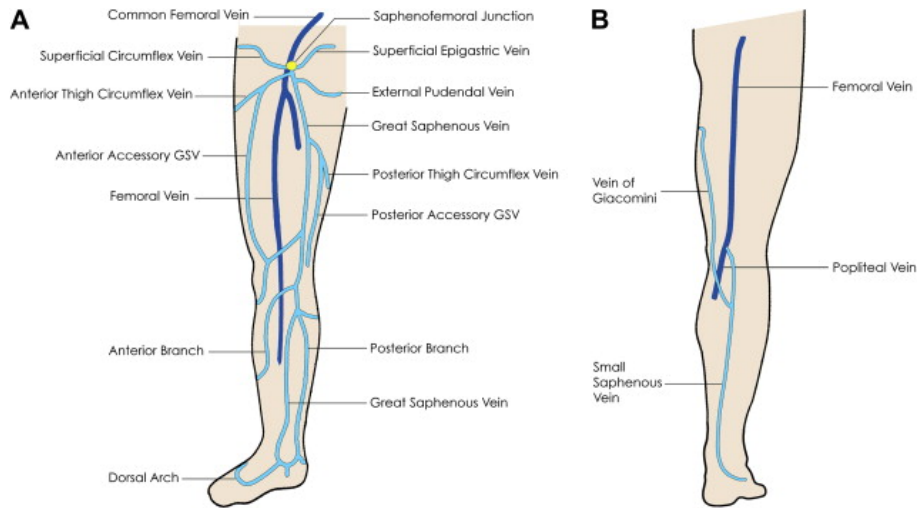


Figura 1.5: A - Sistema venoso magno (GSV); B - Sistema venoso parvo (SSV) [29].

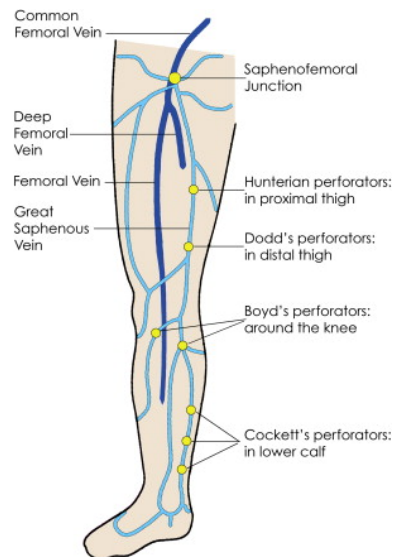


Figura 1.6: Nomes das principais perfurantes entre o sistema venoso profundo e superficial [29].

1.4.1.2 Safenectomia (*Sphenous Vein Stripping*)

As cirurgias às varizes têm sido usadas para tratar varizes há mais de 100 anos. Apesar da técnica mudar ao longo do tempo, o principal objetivo é ligar ou desunir o sistema venoso safeno magno ou parvo nas suas junções com o sistema venoso profundo [21].

Antes de recorrer à cirurgia é avaliado o histórico e feitos exames clínicos ao paciente, e a indicação para cirurgia acontecerá se houver:

1. Refluxo da junção safeno femoral;
2. Refluxo da junção safeno poplíteia;
3. Veias perfurantes incompetentes.

O tratamento cirúrgico tradicional da insuficiência venosa da veia safena envolve dois objetivos principais. O primeiro é eliminar o refluxo venoso da safena e das suas comunicantes. O segundo é remover a veia varicosa através de pequenas incisões. A evolução do método ao longo dos anos permitiu que grande parte destes procedimentos fossem feitos em regime ambulatorio. A safenectomia implica fazer uma pequena incisão a nível da virilha para expor o início da veia safena e dos seus ramos, e outra incisão a nível do joelho. Um fio extrator é inserido na veia e esta é desconectada nas duas incisões. Quando a veia está ligada ao fio é puxada assim, o termo “*stripping*” (desaparelhamento). Posteriormente são feitas incisões pequenas para remover ramos de veias varicosas que não estavam ligados ao tronco principal da veia safena [11].

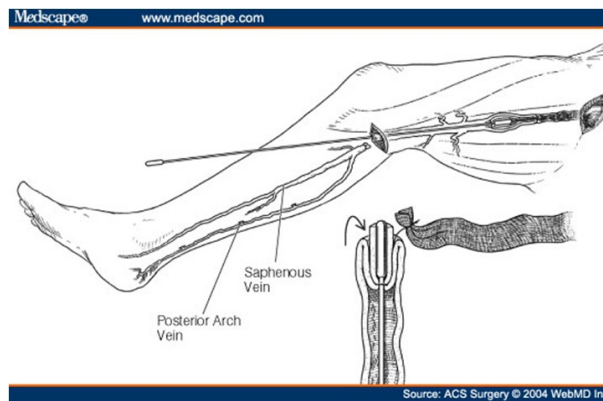


Figura 1.7: *Stripping* da veia safena [5].

A recuperação da cirurgia é rápida mediante os cuidados que o doente deverá ter no pós-operatório como, usar meias elásticas, evitar exposição ao sol, evitar o sedentarismo, etc [11].

1.5 Princípios Físicos

1.5.1 Radiação Infravermelha

A radiação infravermelha caracteriza-se por um comprimento de onda que vai dos 0,75 μm aos 1000 μm , situando-se no espectro eletromagnético entre a luz visível e as ondas rádio. O termo Radiação é aplicado a muitos processos que envolvem a transferência de energia por ondas eletromagnéticas, envolvendo desde ondas de rádio e TV até os raios cósmicos, oriundos essencialmente do Sol, com que a Terra é constantemente bombardeada [3]. Se a temperatura de uma superfície for superior ao zero grau absoluto, ela emitirá Radiação Térmica, ver figura 1.8.

O corpo humano absorve radiação infravermelha ao mesmo tempo que emite parte da sua própria energia térmica sob a forma de radiação infravermelha, correspondendo essa energia à temperatura da superfície radiante [25, 1].

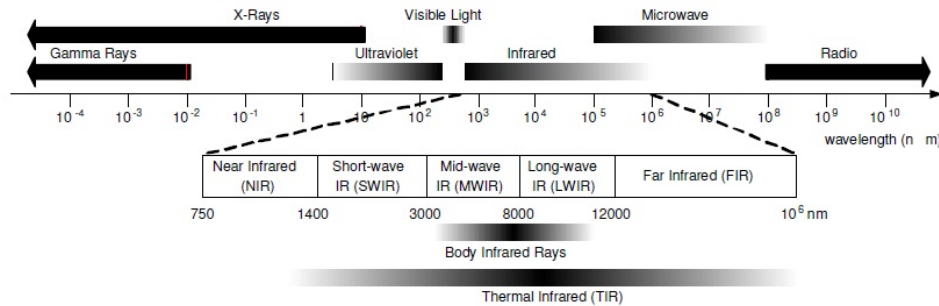


Figura 1.8: Espectro Eletromagnético e a região Infravermelha [23].

O modo de troca de calor por Radiação térmica difere dos outros modos (convecção e condução) em dois aspectos:

1. Não há necessidade de um meio físico;
2. A transferência de energia é proporcional à quarta potência das temperaturas absolutas dos corpos envolvidos.

O fluxo de calor é descrito pela equação 1.5.1:

$$q = \varepsilon\sigma AT^4 \quad (1.5.1)$$

onde ε é a emissividade dos materiais ($0 \leq \varepsilon \leq 1$), σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($\sigma = 5,67 \times 10^{-8} W/m^2 K^4$), $A [m^2]$ é a área dos elementos e $T [K]$ a temperatura.

A radiação infravermelha está subdividida em 5 categorias, baseada nos intervalos de comprimento de onda [27], tal como mostra a tabela 1.2.

Tabela 1.2: Sub-regiões da radiação infravermelha [27].

Sub-região	Comprimento de Onda [μm]
Próximo (<i>NIR - Near Infrared</i>)	0,75 - 1
Curto (<i>SWIR - Short Wave Infrared</i>)	1 - 3
Médio (<i>MWIR - Middle Wave Infrared</i>)	3 - 5
Longo (<i>LWIR - Long Wave Infrared</i>)	8 - 14
Muito Longo (<i>VLWIR - Very Long Wavelegth Infrared</i>)	14 - 1000

A transferência de calor por radiação tem um grande valor na medicina. A superfície do corpo humano requer a troca de calor com o ambiente como parte do

processo normal de termorregulação. A maior parte desta transferência de calor ocorre na gama dos infravermelhos, e que pode ser visualizado posteriormente de forma digital [6]. A emissividade do corpo humano, que é medida para fins de diagnóstico ocupa uma banda do comprimento de onda que vai desde os 8 μm aos 12 μm . Esta região é também referida como comprimento de onda longo (*LWIR*) [2]. A termografia é uma técnica que permite registrar a distribuição da temperatura de um corpo usando a radiação infravermelha emitida pela superfície desse corpo.

1.5.2 Radiação de Corpo Negro

O corpo negro é definido como um corpo ideal que permite que toda a Radiação incidente penetre nele, e ainda absorve internamente toda a Radiação incidente (figura 1.9). Isso é verdade em todos os comprimentos de onda e em todos os ângulos de incidência. Deste modo, o corpo negro é absorvedor perfeito da Radiação incidente [16].

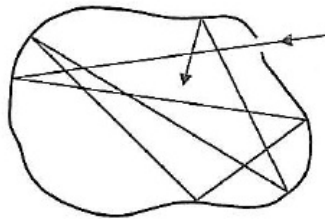


Figura 1.9: Absorção da radiação incidente num corpo negro [16].

1.5.3 Emissividade da Pele

Quando um objeto se encontra em equilíbrio térmico toda a energia absorvida é novamente emitida. Portanto, num corpo negro (aquele que tem capacidade de absorver toda a radiação térmica que incide sobre ele) a absorção é igual à emissividade e igual à unidade.

A pele humana é um emissor quase perfeito de radiação infravermelha que aproxima muito do corpo negro, mas além disso a sua temperatura varia amplamente como resultado das mudanças ambientais. Esta gama de temperaturas é influenciada por vários fatores, como por exemplo [26]:

1. Atividade vascular sob a pele;
2. Condução térmica da atividade de calor localizada e difusa sob a pele;
3. Isolamento por roupa e gordura;
4. Perdas de calor por evaporação;

5. Troca de energia radiante com o ambiente envolvente;
6. O estado psicológico do indivíduo.

A emissividade da pele é de 0,98 [15]; o que significa que se encontra a apenas 2% de uma emissividade perfeita.

1.5.4 Equipamento Termográfico

Os sistemas de termografia podem ser classificados em três tipos: os termómetros pontuais ou de ponto quente (Pirómetros IR), os scanners de linha (Lineares) e as câmaras termográficas (Superficiais) [27].

Os termómetros pontuais fazem medições de temperatura sem contacto de um ponto na superfície. São equipamentos fixos ou portáteis, e embora não forneçam uma imagem térmica, são aplicados em muitas técnicas não destrutivas [27].

Os scanners de linha obtêm da radiação infravermelha, através de prismas e espelhos internos, um perfil de temperaturas ao longo de uma linha na superfície. A imagem térmica é posteriormente construída com a repetição sucessiva do processo de captação de radiação até se atingir a imagem completa [27].

Os sistemas de termografia superficiais, câmaras termográficas, são instrumentos que captam e convertem numa imagem térmica a radiação infravermelha emitida por uma superfície. As imagens são recolhidas a duas dimensões numa escala de cores ou escala de cinza, representativa da temperatura a que se encontra a superfície [27].

As câmaras fotográficas por infravermelhos captam a radiação térmica convertendo-a numa imagem que representa a distribuição da temperatura superficial do objeto observado, sendo esta radiação invisível ao olho humano devido ao comprimento de onda. Para a recolha de imagens térmicas é utilizado um equipamento de termografia por infravermelhos que capta a radiação térmica (ou infravermelha) emitida pela superfície a ser estudada, sem necessidade de qualquer contacto [27].

A termografia necessita que se verifiquem três condições para a sua aplicabilidade [27]:

1. O objeto ou superfície deve apresentar uma temperatura diferente do meio em que se encontra inserido de modo a realçar a sua localização;
2. Se na presença de um gradiente térmico, o objeto com as mesmas propriedades em toda a sua superfície apresentar flutuações de temperatura numa determinada zona, então possivelmente haverá um defeito ou uma omissão de material;
3. Na ausência das condições anteriores pode ser aplicada uma fonte de calor ou frio na superfície com diferentes fluxos ou temperaturas para realçar anomalias ou defeitos.

O que se vê quando se fazem exames termográficos a pacientes oncológicos, por exemplo, é uma variação local da temperatura superficial devido a um fluxo de calor proveniente de singularidades a uma certa profundidade da superfície.

1.5.4.1 Sensibilidade Térmica

A sensibilidade térmica, medida em °C, chamada NETD (*Noise Equivalent Temperature Difference*, ou seja, ruído equivalente à menor temperatura detetável), é muito importante para as aplicações da termografia infravermelha. Quanto mais baixo o NETD, melhor se pode detetar um contraste térmico significativo observável emergindo sobre o ruído do sistema. Recomenda-se a utilização do modelo mais recente de câmaras termográficas quando é necessária uma grande sensibilidade.

1.5.4.2 Precisão

É a medida de como é exata a temperatura medida nos objetos em relação à sua verdadeira temperatura. Quase todas as câmaras atuais alcançam precisões de ± 2 °C ou ± 2 % para as gamas mais extensas.

1.5.4.3 Resolução Óptica

A cada pixel (elemento da imagem) da imagem térmica corresponde uma área específica da superfície cujo valor varia em função da distância entre o equipamento e a superfície em estudo. Com o aumento da distância, aumenta a dimensão mínima detetável, fazendo com que o campo de captação (*FOV - Field of View*) tenha uma área maior distribuída por cada pixel. A distância a realizar o estudo é um parâmetro a ter em atenção pois a radiação captada nessa área é uma média da radiação real emitida, o que traduz uma perda de detalhe da imagem [27].

1.5.4.4 Resolução Espacial

A resolução espacial de um sensor é determinada principalmente pelo número de pixels. Assim como uma câmara de quatro megapixels torna as fotos mais nítidas do que uma câmara de dois megapixels, o número de pixels é um elemento chave no projeto de uma câmara médica. Quanto maior a resolução melhor será a qualidade da imagem térmica [6].

1.5.5 Lei de Cosseno

Considerando a área de dois elementos dA_1 e dA_2 distantes em r unidades de comprimento e onde θ_1 e θ_2 são os ângulos que as direções normais das duas superfícies em jogo fazem com a linha de vista, chega-se à expressão do fator de forma (F) para a situação em que duas áreas infinitesimais se veem (figura 1.10) [16].

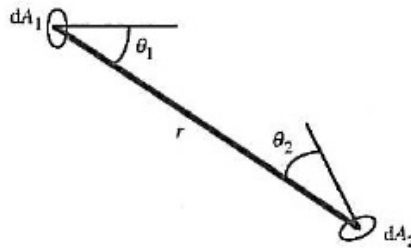


Figura 1.10: Transferência radioativa entre a área de dois elementos [16].

O fluxo de calor entre corpos (figura 1.11) é descrito de acordo com a área, fator de forma e emissividade desse corpo, equação 1.5.2.

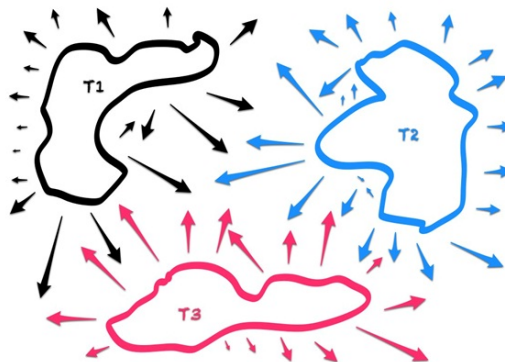


Figura 1.11: Transferência de calor por emissão (ou absorção) de radiação eletromagnética.

$$q_{12} = A_1 F_{12} \varepsilon \sigma (T_1^4 - T_2^4) \quad (1.5.2)$$

O fator de forma é descrito pela equação 1.5.3.

$$F_{dA_1-dA_2} = \frac{\cos\theta_1 \cos\theta_2 dA_2}{\pi r^2} \quad (1.5.3)$$

Quanto maior o θ , menor o seu $\cos\theta$, logo há menor radiação emitida de 1 para 2. Significa isso que quanto mais paralela for a relação de troca de calor entre duas superfícies, menor será a distorção da medição.

1.5.6 Características das Superfícies

Quando a energia incide numa superfície, parte dela é refletida e o restante penetra no corpo. A Radiação então poderá ser absorvida ou transmitida. Se a espessura necessária para a absorção for maior que a espessura do corpo, a maior parte da energia que penetra será transmitida, isto é, sairá do outro lado do corpo (figura 1.12). Se, ao contrário, a espessura da peça for suficiente, toda a energia penetrada na peça será absorvida, isto é, teremos um ótimo absorvedor interno[3].

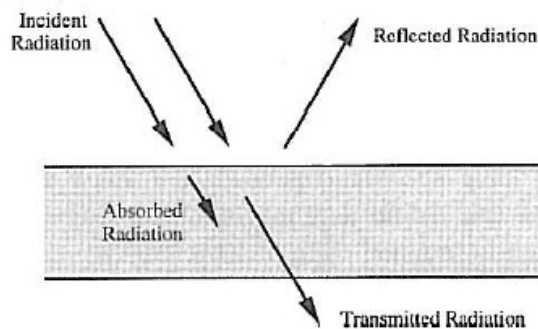


Figura 1.12: Absorção, reflexão, e transmissão da radiação num corpo de espessura finita [16].

Capítulo 2

Material e Métodos

A parte experimental deste trabalho foi realizada em 2 momentos distintos: de 01 de Outubro de 2011 a 28 de Fevereiro de 2012 em *Valladolid* na escola de Engenheiros Industriais; e de 29 de Fevereiro a 30 de Junho de 2012 em Bragança.

2.1 Descrição do Material

2.1.1 Características das Câmaras

As principais características de uma câmara infravermelha são: a sensibilidade térmica, a precisão, a resolução espacial, e a frequência da imagem.

Uma das câmaras de termografia infravermelha utilizada foi uma câmara de marca InfraTec modelo ImageIR[®] 3300. Na tabela 2.1 estão representadas as principais características técnicas da câmara utilizada.

Na figura 2.1 apresentam-se as câmaras usadas na elaboração dos ensaios deste trabalho.



Figura 2.1: Câmara InfraTec modelo ImageIR[®] 3300, à esquerda, FLIR[®] T365, à direita .

A câmara FLIR[®] T365 inclui muitas características, sendo estas apresentadas na tabela 2.2.

Tabela 2.1: Características da Câmara InfraTec ImageIR[®] 3300 [14].

Sensibilidade Térmica (NETD)	< 20 mK a 30 °C
Gama de Temperatura	(-40 ... 2000) °C
Frequência de Amostragem	250Hz/ 900Hz/ 3000Hz/ 10kHz
Digitalização	14 bit
Resolução Espacial (pixel)	320 (H) x 240 (V)
Faixa Espectral	(3 ... 5) [µm]
Saída de Vídeo (output)	CCIR (50Hz)
Saída Digital	RS422
Fonte de Alimentação	24 VDC/ < 2.5 A
Dimensões (comprimento x largura x altura)	(270 x 120 x 150) mm
Peso, excluindo as lentes	Aprox. 2Kg
Tipo de Detector	Focal plane Array, MCT or InSb
Largura do Pixel	30 µm
Refrigeração	Stirling
Trigger	TTL input
Controle Remoto	RS232
Grau de Protecção	IP 54, IEC 529
Tempo de Integração	(1 ... 20000) µs
Lentes utilizadas	Close-up 500 mm for tele 100 mm

Tabela 2.2: Características da Câmara FLIR® T365 [10].

Sensibilidade Térmica (NETD)	< 0.05°C @ + 30°C (+86°F) / 50 mK
Gama de Temperaturas	-20 °C a +120 °C; 0 °C a +350 °C; +200 °C a 650 °C Opção de alta temperatura de +1200 °C
Frequência de Amostragem	9 Hz, ou 30 Hz
Digitalização	3.1 Mpixel (2048 x 1536 pixels), e luzes LED
Resolução Espacial (pixel)	320 x 240 pixels
Faixa Espectral	7.5 - 13 µm
Saída de Vídeo (output)	USB
Saída Digital	USB
Fonte de Alimentação	Battery
Dimensões (comprimento x largura x altura)	106 x 201 x 125 mm
Peso da câmara com a bateria incluída	0.88 kg
Campo de Visão (FOV)	25° x 19° / 0.4m
Focagem	Manual / Automática
Zoom	1 - 4x contínuo, zoom digital
Display	Ecrã táctil incorporado, LCD a cor de 3,5"
Precisão	± 2 °C ou 2 % de leitura
Armazenamento de Imagens	Standard JPEG, incluindo dados de medição no cartão de memória
Modo de Armazenamento de Imagens	IR / visual images, simultaneous storage of IR and visual images

2.2 Parâmetros de ensaios com Termografia

2.2.1 Determinação e Definição do Protocolo Experimental

A determinação de um procedimento experimental resulta da adaptação de protocolos de termografia já existentes [12] nomeadamente na parte que antecede o exame, onde:

1. Não se devem aplicar loções, cremes ou maquilhagem sobre a área fotografada no dia do exame termográfico;
2. Não deve haver demasiada exposição ao sol (especialmente queimaduras solares) nas áreas a ser fotografadas 5 dias antes do exame;
3. Não se deve realizar depilação ou outra forma de eliminação de pêlo nas áreas que vão ser fotografadas 24 horas antes do exame;

4. Não se devem fazer tratamentos (quiroterapia, acupuntura, terapia física, estimulação muscular elétrica, ultrassom) nas zonas de interesse ao exame 24 horas antes deste;
5. Não se deve realizar exercício pelo menos 4 horas antes do exame;
6. Banhos devem ser tomados há pelo menos mais de uma hora antes do exame;
7. A toma de analgésicos deve ser evitada nas 4 horas que antecedem o exame.

Antes do exame deverá haver um tempo de espera para uma uniformização do corpo à temperatura da sala de ensaios (processo de aclimatação).

Para fazer a termografia, os pacientes devem remover as peças de roupa das áreas envolventes no exame, no caso dos ensaios à face, zona do pescoço e cabeça; e nos ensaios à perna (varizes), deve-se retirar as calças. No caso de cabelo comprido, o indivíduo deve tirar o cabelo da zona de interesse.

Considerando protocolos de termografia já existentes, havia a necessidade de uma adaptação destes protocolos de acordo com a estrutura anatômica a ser estudada. Este protocolo é apresentado no capítulo 4 com o corolário dos testes efetuados.

As câmaras usadas nos ensaios foram diferentes: nos ensaios à Articulação Temporomandibular (ATM) foi usada uma câmara de marca InfraTec modelo ImageIR[®] 3300, enquanto que nos ensaios às pernas foi usada uma FLIR[®] modelo T365.

2.2.2 Temperatura Ambiente

A temperatura ambiente da sala de ensaios não era uma temperatura controlada, por isso manteve-se a porta da sala fechada, para que a sua variação durante os ensaios não ultrapassasse 1 °C.

A sala tinha que ser mantida livre de correntes de ar e objetos que fossem fonte de calor. Durante o ensaio, devem manter-se as extremidades ou outras partes do corpo do indivíduo longe da área a ser estudada para prevenir efeitos de contaminação.

2.2.3 Distância da Câmara ao Objeto

Foram usadas duas câmaras termográficas diferentes porque os ensaios exploratórios não foram realizados no mesmo sítio. Os ensaios à ATM foram realizados na *Universidad de Valladolid* (Espanha) com a câmara InfraTec, enquanto que os ensaios às varizes foram feitos no IPB e na ULS de Bragança usando a câmara FLIR[®]. Estabeleceram-se duas distâncias diferentes nos ensaios efetuados. A distância da câmara ao objeto nos ensaios à perna (varizes) foi de 0,50 m, enquanto a distância ao objeto, nos ensaios à ATM, foi de 2,50 m. Esta diferença justifica-se porque a câmara utilizada nos ensaios da ATM tinha maior sensibilidade térmica do que a

estava a trabalhar com superfícies curvas, se assim não fosse, as imagens forneceriam a informação errada.

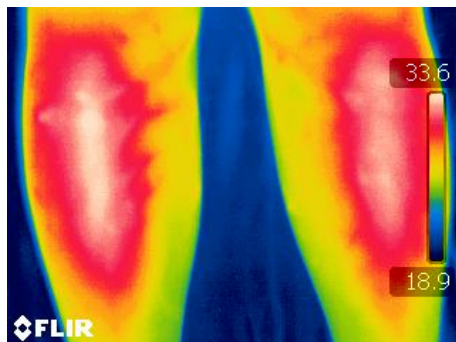


Figura 2.4: Definição de secções para a recolha de imagens.

Durante a realização dos ensaios às pernas foi usada uma superfície negra atrás do objeto a ser fotografado para mitigar contaminações de outras fontes (figura 2.5).

Two side-by-side thermal images of a human leg. The left image shows the leg against a black background, with a color scale from 24.7 to 33.5. The right image shows the leg against a light background, with a color scale from 24.7 to 33.5. Both images have the FLIR logo in the bottom left corner.

Figura 2.5: Perna com e sem pano preto atrás.

Nos ensaios realizados à ATM foi desenvolvido um acessório de apoio para a captação de imagens sempre nas mesmas áreas, pois trata-se de superfícies não planas. Inicialmente foi usado um aparelho ótico apenas para manter a face na mesma posição. Apoia-se a testa do indivíduo numa borracha cinza como se pode ver na figura 2.6, assim, a zona da articulação é bem visível, e consegue-se controlar relativamente bem a posição da cabeça.



Figura 2.6: Apoio para a face.

A figura 2.6 mostra a ideia do que era suposto obter. Na figura 2.7 vê-se um projeto onde o apoio de cabeça seria regulável, para cima ou para baixo e o apoio do queixo também. Assim, mediria-se a distância da mesa ao apoio de cabeça e ao apoio do queixo e essas medidas seriam iguais na repetição do ensaio.

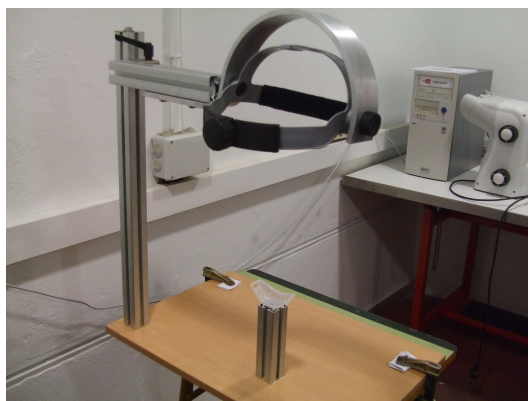


Figura 2.7: Apoio de cabeça para os ensaios à ATM.

Capítulo 3

Ensaaios

Este capítulo descreve os ensaios exploratórios realizados, onde o objetivo foi:

1. Determinar o tempo mínimo de aclimação da área estudada para ser viável a fotografia termográfica;
2. Verificar a assimetria da cara;
3. Domínio dos procedimentos e técnica da termografia (como tirar fotos, tratamento digital, configurações, afinações, etc.).

A ideia inicial na mobilidade Erasmus na *Universidad de Valladolid* em Espanha (Programa Aprendizagem ao Longo da Vida) era usar a termografia no estudo da Articulação Temporomandibular (ATM) em pacientes com um distúrbio chamado Apneia do Sono. Esta é uma desordem do sono caracterizada pela suspensão da respiração durante o sono pela língua, que inibe a passagem de ar ao nível da garganta. Os pacientes teriam que usar um aparelho que tem como função trazer a mandíbula para a frente permitindo a passagem do ar. No entanto, devido a problemas burocráticos com o Hospital Universitário de Salamanca, não houve tempo para analisar casos clínicos, e por isso os primeiros ensaios de termografia foram à face de indivíduos saudáveis. Para obter mais resultados práticos começaram a ser feitos, já no IPB e com apoio da Unidade Local de Saúde de Bragança, ensaios às varizes nos membros inferiores.

Na utilização da câmara InfraTec, esta foi calibrada para a lente de 100 mm, com uma frequência de 100 Hz e uma gama de temperaturas dos 0 °C aos 60 °C, visto ser a escala mais adequada para ensaios realizados em humanos. Nos ensaios às varizes regulou-se a gama de temperaturas para a FLIR® T365 dos -20 °C aos 120 °C.

Os ensaios exploratórios consistiram na exposição da área a ser estudada para a aclimação da temperatura corporal. Na elaboração destes ensaios exploratórios

foram consideradas várias conclusões de trabalhos semelhantes realizados anteriormente tendo em conta sistemas de classificação de padrões térmicos (normais e anormais), áreas de medição, e fatores envolventes nas mudanças de temperatura corporal [26, 9]. De seguida apresentam-se alguns exemplos de imagens térmicas recolhidas a partir da câmara InfraTec, figura 3.1.

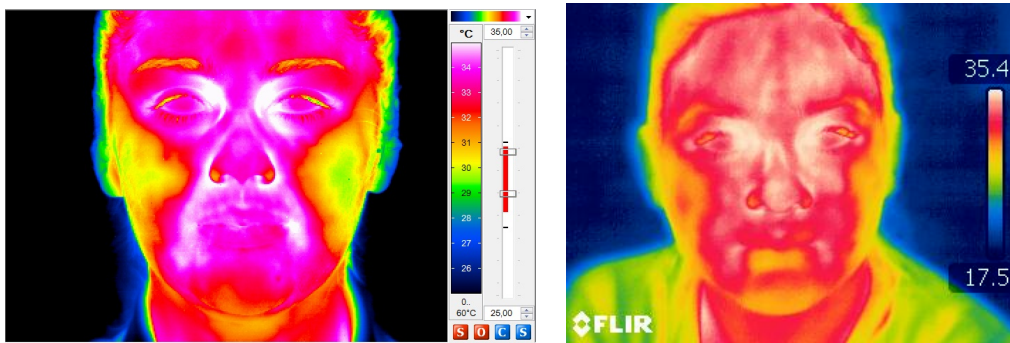


Figura 3.1: Exemplos de imagens térmicas da face.

Tal como podemos ver na escala de temperaturas que se apresentam do lado direito da imagem, as cores preto, azul e verde são as cores mais frias, e as cores laranja, vermelho e branco as mais quentes.

3.1 Ensaios à Perna (Varizes)

Ao tentar identificar outras partes do corpo com a câmara termográfica, surgiu a ideia de recolher imagens às pernas e a partir daí fazer um estudo a patologias vasculares como as varizes. Esta fase do relatório já foi desenvolvida no IPB, como tal, foi usada a câmara da escola, uma FLIR[®] T365, com menor sensibilidade térmica. As características introduzidas na câmara foram a emissividade ($\epsilon = 0,98$); a humidade relativa (50 %); e a distância da câmara ao objeto (0,50 m).

Na figura 3.2 estão representados os resultados para a mesma perna obtidos pelas duas câmaras. Verificou-se que se obtém o mesmo tipo de imagem, apesar de a câmara FLIR[®] ter menor sensibilidade térmica e não conseguir um melhor contraste térmico e menos ruído na imagem.

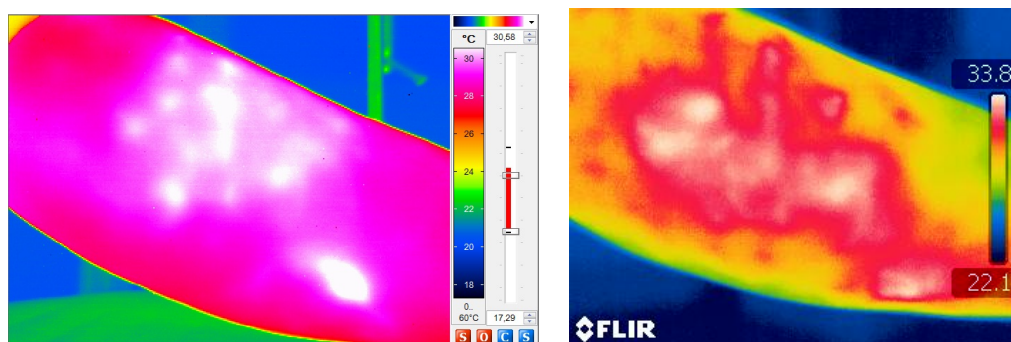


Figura 3.2: Identificação de patologias em pernas. À esquerda: imagem recolhida com a câmara ImageIR 3300; à direita: imagem recolhida com a câmara FLIR T365.

Fizeram-se testes preliminares para obter imagens de referência para uma situação neutra. À medida que foram elaborados os ensaios, corrigiam-se sempre mais alguns parâmetros, como o posicionamento do indivíduo, ou a utilização de um pano preto para reduzir contaminações de fatores externos como a reflexão de luminosidade. Realizaram-se três tipos de ensaios com os indivíduos saudáveis: deitado, e em pé sempre com o pano preto como superfície de fundo, e um terceiro teste em que o pano preto rodava ao mesmo tempo que a câmara para garantir sempre um fundo preto à perna.

Com o apoio da Unidade de Cirurgia da ULS de Bragança, conseguiu-se ter acesso a casos clínicos de indivíduos que seriam submetidos a cirurgia para a remoção de varizes. Foram estudados quatro casos clínicos e recolheram-se as imagens de dois deles em Mirandela, e dos outros dois em Bragança. As imagens foram recolhidas com o paciente deitado e em pé, no pré e pós-operatório.

3.2 Ensaios à Articulação Temporomandibular

Os ensaios à Articulação Temporomandibular (ATM) foram inicialmente feitos numa linha na zona lateral da face, para verificar como a temperatura facial evoluía ao longo do tempo (figura 3.3).

Estes ensaios foram feitos nas vistas laterais e frontal com a câmara a 2,50 m de distância ao objeto a cada 5 minutos para se verificar a evolução da temperatura facial no tempo, podendo-se avaliar a temperatura máxima, mínima e média de áreas ou linhas na região estudada a partir do software IRBIS[®]3 Professional.

Trabalhos anteriores indicam que o tempo de aclimação é de 10 minutos [26, 24], e que não existe simetria facial quando existe uma diferença de pelo menos 0,1 °C entre ambos os lados da cara, enquanto se fez o estudo da arte e se aprendia a manusear a câmara, fizeram-se na mesma estes ensaios. No entanto há também artigos que se contradizem, dizendo que uma diferença de temperatura (ΔT) de $\pm 0,2$ °C até 0,25 °C é considerado um padrão térmico normal [9].

Os passos foram os seguintes:

1. Estudou-se o tempo em haver uma uniformização da temperatura dos corpos na sala de ensaios com apenas uma pessoa;
2. Traçou-se uma linha na zona mandibular da face de um indivíduo, e verificou-se a evolução da temperatura ao longo dessa linha, ver figura 3.3.
3. Depois fizeram-se ensaios à simetria facial através da mesma linha em 4 pessoas.

A sala utilizada para realizar os ensaios não tinha a temperatura ambiente controlada, e como tal esta ia mudando com o tempo. O exame foi realizado em indivíduos que vinham do ambiente exterior com uma temperatura inferior.

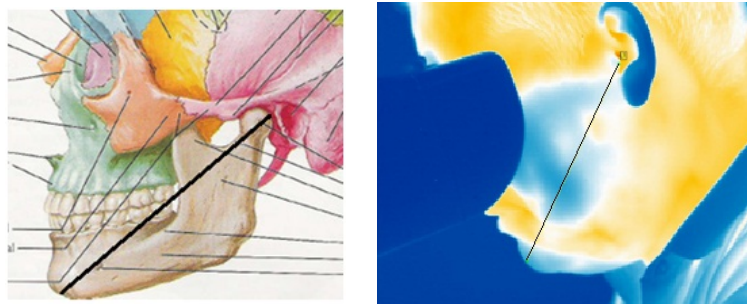


Figura 3.3: Representação da linha na face.

Capítulo 4

Resultados e Discussão

4.1 Ensaio às Varizes

Os ensaios exploratórios foram efetuados em pessoas saudáveis, de aproximadamente 20 anos, e do sexo feminino, servindo de referência para situação neutra. Inicialmente estes ensaios foram feitos numa posição horizontal, onde a perna se encontrava em repouso (ver p.e. a figura 4.1), seguidamente na vertical.

4.1.1 Testes Preliminares

A análise e interpretação de resultados termográficos são um processo relativamente complexo pois existem algumas variáveis envolvidas (contaminações, tipo de superfície, posicionamento da câmara como o ângulo ou a distância) que são difíceis de quantificar. Surge assim a necessidade de efetuar alguns testes preliminares de viabilidade do estudo termográfico para eliminar a influência destas variáveis nos resultados.

As figuras 4.1 e 4.2 apresentam as imagens de um indivíduo do sexo feminino de 21 anos deitado e de pé. Verifica-se que na posição vertical há uma maior uniformização da temperatura. Mostram-se apenas os resultados das pernas direitas uma vez que não se distinguiam diferenças relevantes entre ambas. Os resultados (exaustivos) são apresentados em anexo (Anexo A).

Concluiu-se destes testes iniciais que a informação mais fiável correspondia à situação de pessoa em pé, sendo esta a condição necessária para os testes futuros.

4.1.1.1 Indivíduo Saudável 1

As imagens 4.1, 4.2 e 4.3 são respetivas a um indivíduo do sexo feminino de 21 anos.

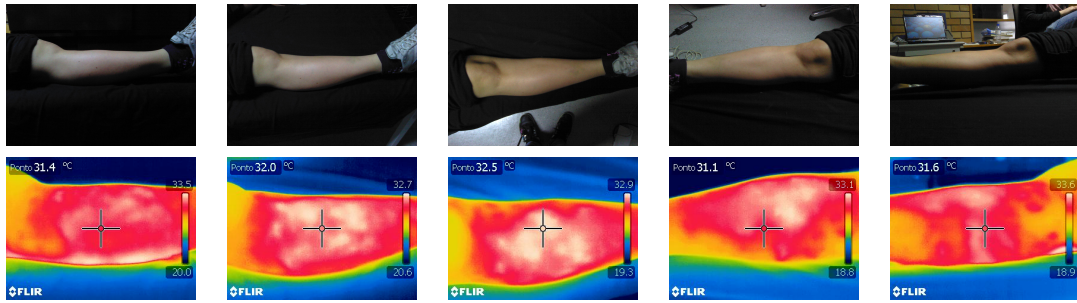


Figura 4.1: Perna direita do indivíduo saudável 1 (vários ângulos - deitado).

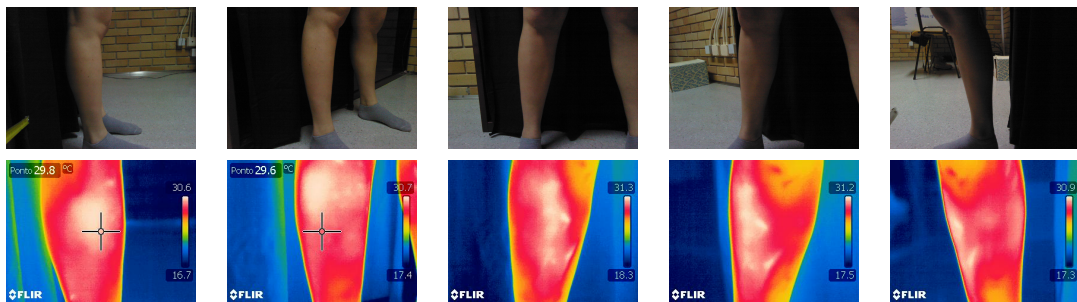


Figura 4.2: Perna direita do indivíduo saudável 1 (vários ângulos - em pé).

Uma das condições necessárias para a recolha de imagens é que o pano preto esteja sempre atrás da superfície estudada. Na figura 4.2 o pano preto estava fixo atrás da parte posterior da perna, não tendo acompanhado a rotação da câmara. Posteriormente repetiram-se os ensaios aos indivíduos saudáveis pedindo-lhes que segurassem no pano preto entre as pernas, e que rodassem o pano à medida que a câmara rodava também (figura 4.3). Os resultados obtidos são melhores que os primeiros uma vez que desta forma conseguem-se mitigar contaminações de outras fontes.

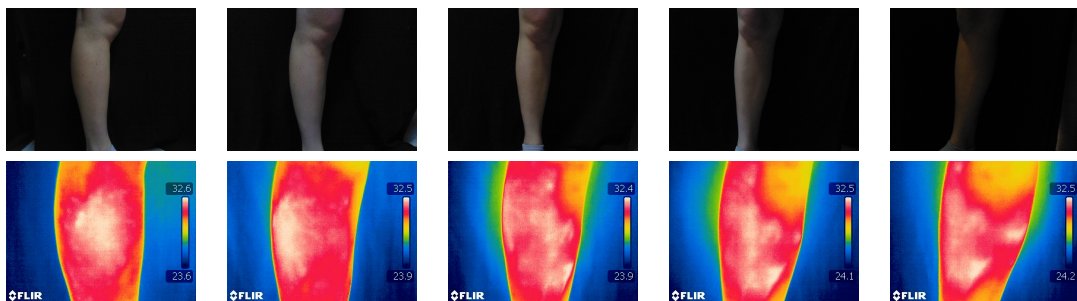


Figura 4.3: Perna direita do indivíduo saudável 1 (rotação do pano preto).

4.1.1.2 Indivíduo Saudável 2

A figura 4.4 representa o indivíduo saudável 2, do sexo feminino e com 20 anos.

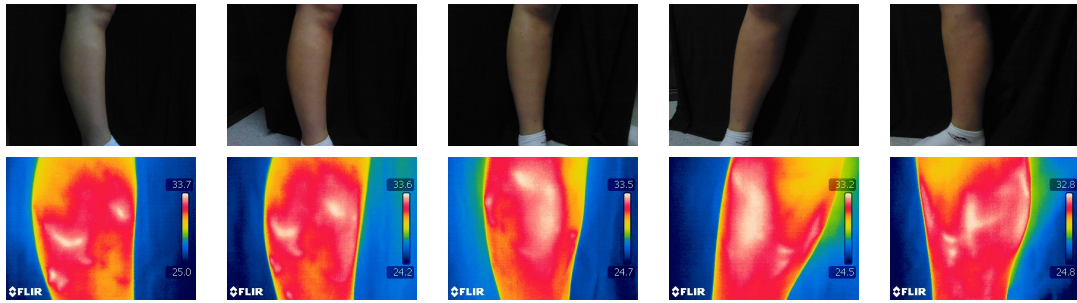


Figura 4.4: Perna direita do indivíduo saudável 2 (rotação do pano preto).

4.1.1.3 Indivíduo Saudável 3

A figura 4.5 apresenta as imagens da perna direita do indivíduo saudável 3, do sexo feminino e de 19 anos.

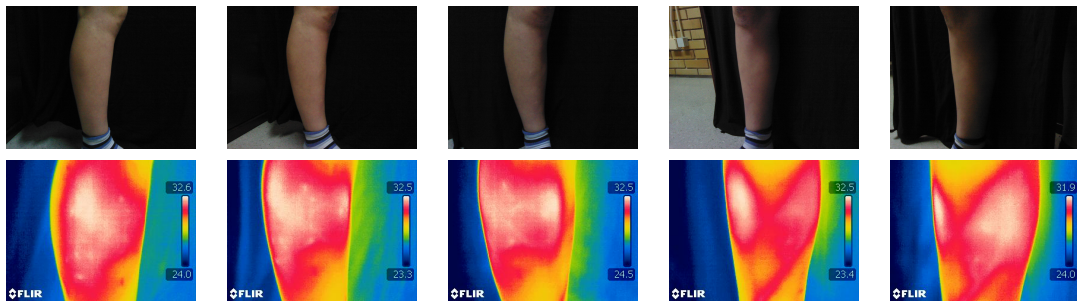


Figura 4.5: Perna direita do indivíduo saudável 3 (rotação do pano preto).

4.1.1.4 Indivíduo Saudável 4

A figura 4.6 é do indivíduo saudável 4, do sexo feminino e de 21 anos.

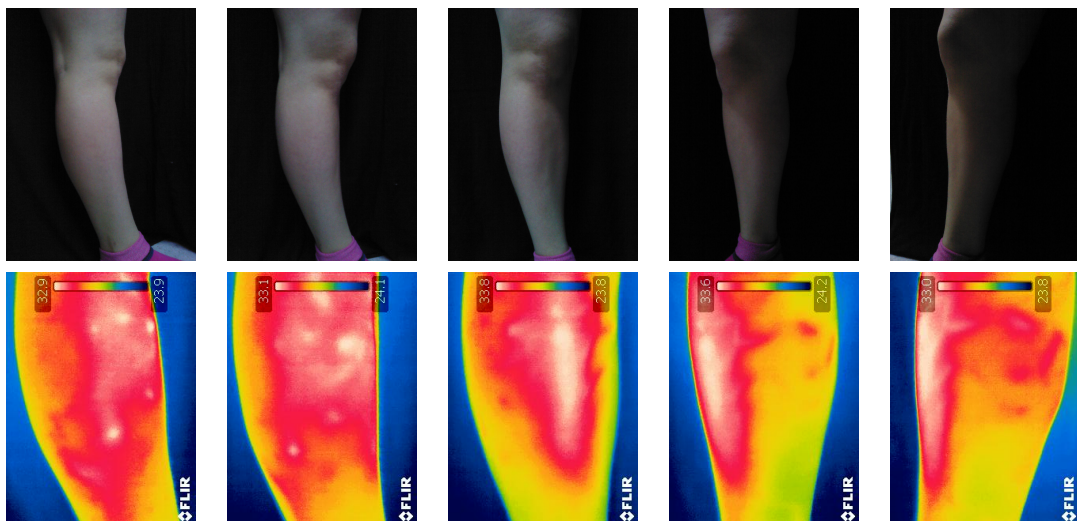


Figura 4.6: Perna direita do indivíduo saudável 4 (rotação do pano preto).

A figura 4.7 esquematiza o processo de aprendizagem para o desenvolvimento e adequação do protocolo de termografia ao tipo de ensaios realizados.

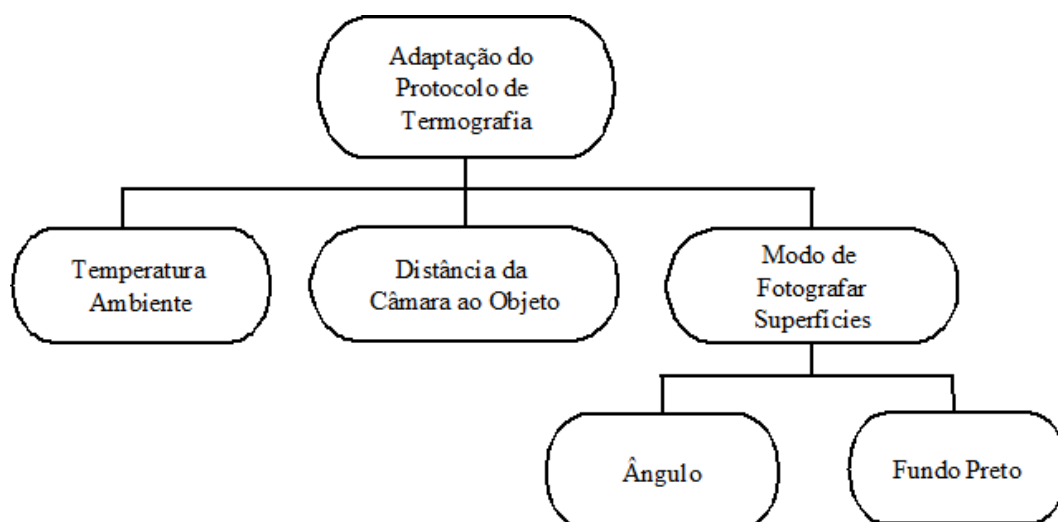


Figura 4.7: Desenvolvimento de um Protocolo de Termografia.

O esquema representado na figura 4.7 mostra os parâmetros considerados na adequação de um protocolo de termografia de acordo com a superfície corporal estudada. Cada um destes parâmetros já foi abordado no Capítulo 2.

Tendo em conta as instruções que antecedem um exame termográfico (subsecção 2.2.1) é importante estabelecer um protocolo de termografia específico à área em estudo. Assim, os passos a seguir são:

1. Ligar a câmara e deixá-la a calibrar durante 5 - 7 minutos (de acordo com o manual de instruções da câmara);
2. Deixar os indivíduos em repouso e com os membros inferiores a aclimatar (remover as peças de roupa desta área) numa sala durante 10 minutos antes do exame;
3. Colocar o pano preto atrás do membro inferior;
4. Manter a câmara a 0,50 m da área em estudo;
5. Recolher as imagens em vários ângulos, sendo as principais áreas de interesse as laterais exterior e interior, a face anterior e/ou posterior da perna.

4.1.2 Casos Clínicos

Os casos clínicos apresentados nas subsecções 4.1.2.1 e 4.1.2.2 referem-se a doentes da ULS NE (Unidade Local de Saúde do Nordeste) de Mirandela, e os casos clínicos 4.1.2.3 e 4.1.2.4 são doentes do ULS NE de Bragança. Para estes últimos dois casos, foi necessária a comparência no Hospital pelo menos 2 horas antes da operação, para recolher as imagens quando o paciente ainda se encontra no quarto. Como tal, nesta fase encontraram-se algumas dificuldades, sendo elas:

- A incerteza da hora de início da cirurgia (*dependendo de como correm as cirurgias, estas podem acabar mais cedo ou mais tarde, e como era necessário recolher as imagens termográficas antes da cirurgia, era necessário a comparição no hospital com pelo menos 1 a 2 horas de antecedência. A cirurgia do caso 3 começou 1 hora antes do previsto, o que nos encurtou excepcionalmente para este caso o tempo de recolha de imagens, não sendo possível a sua recolha com a paciente de pé nas diversas vistas pré-definidas no protocolo de termografia.*);
- Falta de conhecimento sobre o assunto (Termografia), ou até mesmo alguma censura à aplicação da técnica à patologia – Varizes. (*Apesar do interesse e curiosidade pelo trabalho que se estava a desenvolver, foi notada alguma censura à aplicabilidade da Termografia na medicina, e principalmente na patologia em causa, não tendo sido entendido que a Termografia não seria para substituir outros meios de diagnóstico.*).

4.1.2.1 Caso 1

A paciente era do sexo feminino e de 61 anos, e por se tratar do primeiro caso clínico, e a primeira interação com doentes, evitou-se causar incómodos ao paciente e à equipa médica na preparação para a cirurgia.

De acordo com o relatório do exame Eco-Doppler onde foi avaliada a circulação a nível das veias ilíacas, femorais, poplíteas e a circulação venosa superficial as informações obtidas foram:

Membro Inferior Direito

“Avaliamos o sistema venoso profundo a nível ileo-femoral e poplíteo. Os vasos apresentam-se ligeiramente dilatados com discreta regurgitação provocada pela manobra de Valsalva. O sinal da compressão é negativo. Trata-se de uma doente submetida a cirurgia prévia e no entanto observa-se um trajeto dilatado correspondente à recidiva de possível duplicação de safena. Existe ainda perfurante insuficiente de Dodd e Cockett e envolvimento varicoso do arco posterior. Detetamos ainda alguns trajetos varicosados anastomóticos.”

Membro Inferior Esquerdo

“Avaliamos o sistema venoso profundo a nível ileo-femoral e poplíteo. Os vasos apresentam calibre, morfologia e fluxos normais. Não detetamos regurgitação com a manobra de Valsalva e o sinal da compressão é negativo.

As safenas interna e externa tem características normais existindo apenas varicosados superficiais de pequeno calibre.”

A conclusão do relatório dizia que haviam alterações ligeiras da morfologia e que a hemodinâmica estava conservada.

As imagens do paciente do caso 1 foram recolhidas no pré-ambulatório da unidade de cirurgia do Hospital de Mirandela com a paciente inicialmente deitada na maca. A recolha de dados foi rápida, e por isso as figuras 4.8 e 4.9 apenas apresenta imagens de três ângulos distintos.

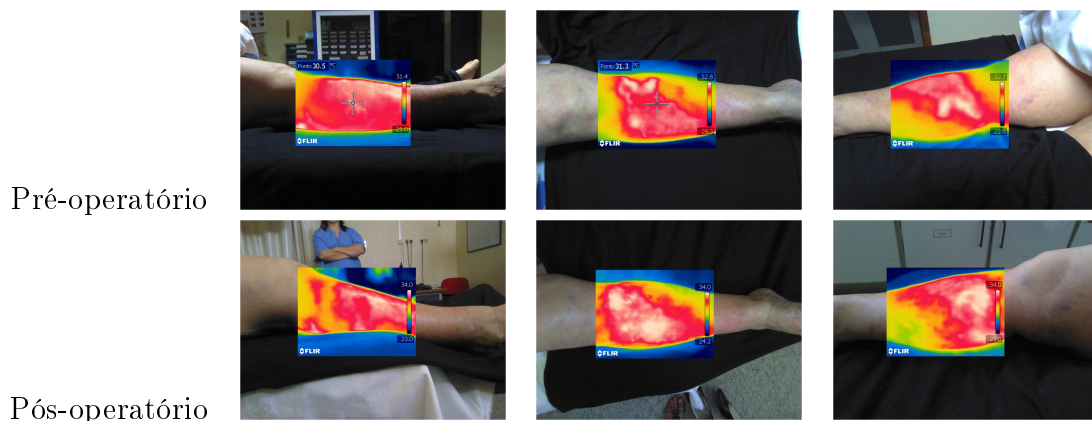


Figura 4.8: Perna direita do caso 1 (antes e depois da cirurgia - deitada).

Na figura 4.9 visualiza-se zonas de temperaturas elevadas (zonas brancas) que rondam os 34 °C. Estas zonas não são visíveis quando o paciente está em repouso, devido ao fluxo sanguíneo ser mais passivo. Em repouso não se consegue ver o que se vê de pé porque o fluxo sanguíneo é menor, sendo essa até uma das características das varizes. Então, quando o paciente se coloca em pé o fluxo sanguíneo aumenta pois não há válvulas competentes que consigam controlar esse fluxo. A recolha de imagens do pós-operatório do caso 1 foi feita 39 dia após a cirurgia.

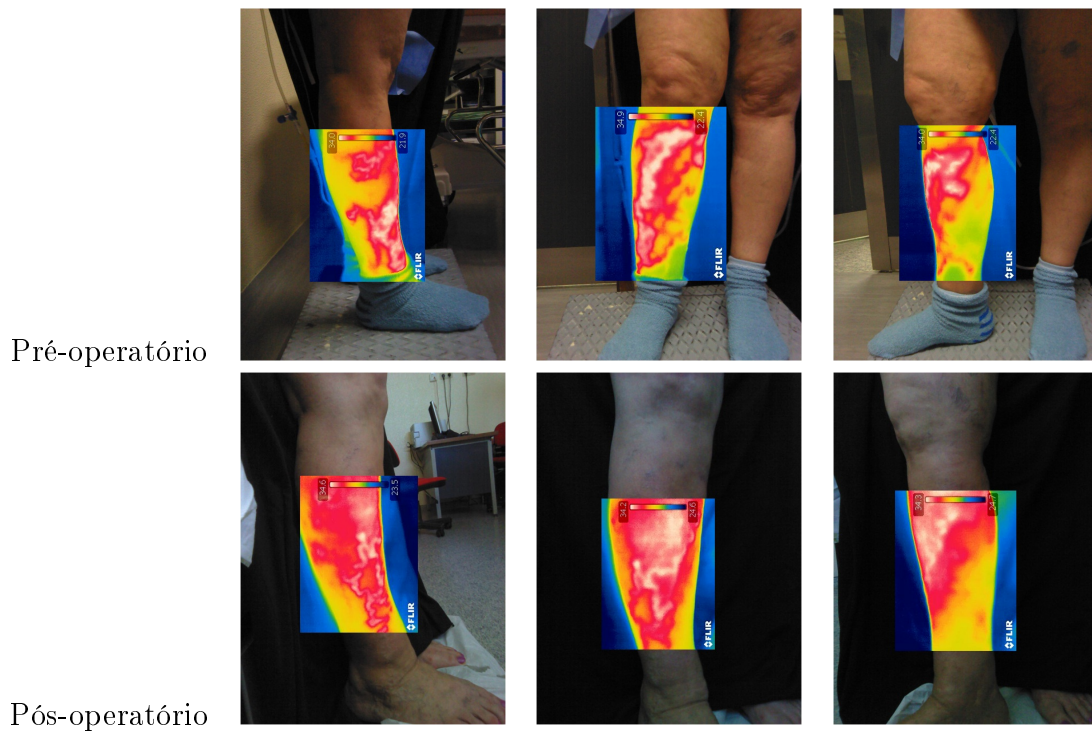


Figura 4.9: Composição de imagens da perna direita (Original e Térmica - antes e depois da cirurgia).

Na avaliação dos resultados termográficos, relativamente ao membro inferior direito há confirmação da patologia venosa e de varizes recidivas. Foi possível identificar-se com o exame termográfico o mesmo que se identificou com o Eco-Doppler.

Na figura 4.9 é visível a melhoria na face interna da perna, no entanto nas vistas lateral exterior e face anterior ainda são visíveis varizes residuais.

Na consequência de varizes residuais está a falta de um exame intra-operatório, como a termografia, que tem a vantagem sobre o Eco-Doppler de não entrar em contacto com o paciente para fazer uma avaliação da cirurgia, se foi adequada ou não. Como foi dito no Eco-Doppler da paciente, esta já tinha tido uma cirurgia prévia, ou seja, a safena já tinha sido removida (safenectomia). As veias residuais dos membros inferiores são complicações frequentes do tratamento cirúrgico inicial inadequado ou incompleto, embora possam ocorrer também por progressão e evolução da doença.

Neste caso, aparentemente, ficaram varizes por marcar (figura 4.10). Isto pode acontecer por dificuldade em avaliar visualmente as estruturas anatómicas envolvidas na patologia. Em pacientes operados às varizes, o sucesso da cirurgia depende de vários fatores como:

1. A perícia de quem opera;
2. O tempo da cirurgia;
3. A capacidade de avaliar visualmente.



Figura 4.10: Marcação das varizes.

A marcação é feita com o paciente em pé, mas pode-se ponderar fazer com o paciente deitado tendo a termografia como apoio ao diagnóstico.

Apesar da perna esquerda não ter sido indicada para operação, a câmara termográfica revelou nesta perna a mesma patologia que na perna direita (ver figura 4.11).

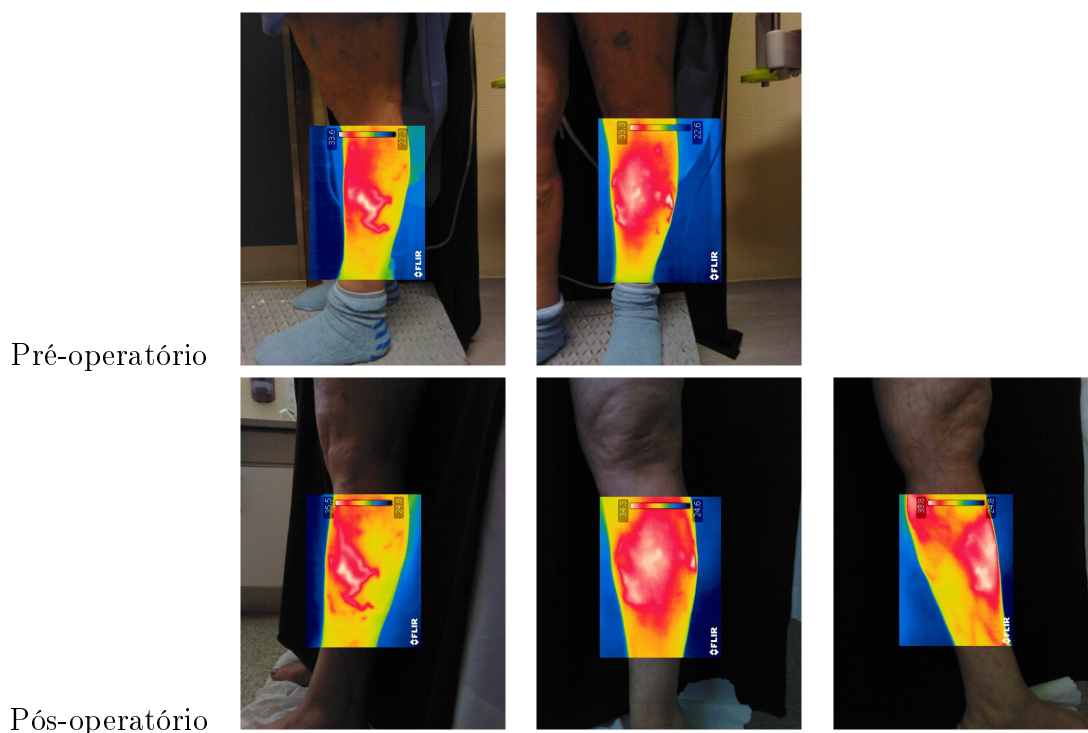


Figura 4.11: Perna esquerda antes e depois da cirurgia da perna direita.

Apesar da distância à perna e o ângulo não serem iguais aos das imagens recolhidas antes da cirurgia, verificou-se que houve evolução na variz identificada pela câmara. Relativamente à perna esquerda o Eco-Doppler dá uma informação diferente da termografia, o que mostra que pode ser um método tão ou menos confiável que a termografia.

O agravamento na variz da perna esquerda é devido a um esforço acrescido nesta

perna, no decorrer da recuperação da cirurgia à perna direita. Na figura 4.12 foi feita uma medição usando-se o software SolidWorks®.

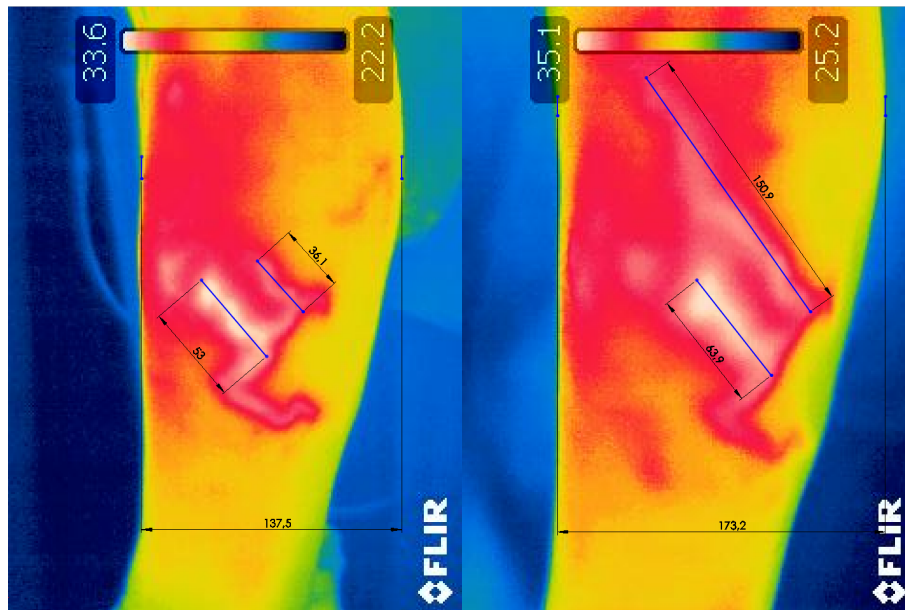


Figura 4.12: Perna esquerda. Evolução da variz antes e depois da cirurgia da perna direita.

Para se fazer a comparação do tamanho da variz, tendo em conta que a câmara está em distâncias e ângulos diferentes, estimou-se as dimensões por semelhança de triângulos (figura 4.13).

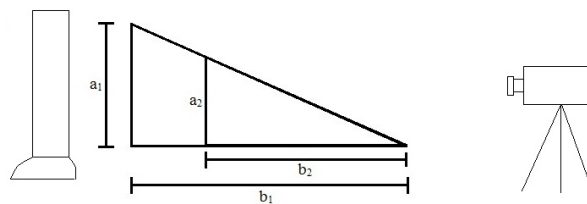


Figura 4.13: Semelhança de triângulos.

Onde:

$$\frac{b_1}{a_1} \simeq \frac{b_2}{a_2} \quad (4.1.1)$$

Foi admitido que na figura 4.12 a imagem da esquerda é o estado 1 e que a imagem da direita é o estado 2. As tabelas 4.1 e 4.2 mostram os cálculos efetuados para perceber se houve aumento da variz mais evidente (estrutura 1) e da variz menos evidente (estrutura 2).

Tabela 4.1: Comparação do comprimento da variz - Estrutura 1.

	Estado 1	Estado 2
b	137,5	173,2
a	53,0	63,9
$\frac{b}{a}$	2,6	2,7
Aumento (%)	4,3 %	

Tabela 4.2: Comparação do comprimento da variz - Estrutura 2.

	Estado 1	Estado 2
b	137,5	173,2
a	36,1	150,9
$\frac{b}{a}$	3,8	1,2
Aumento (%)	232 %	

Admitindo uma margem de erro de $\pm 5\%$ na captação de imagens, relativamente à estrutura 1 não se pode afirmar que houve aumento da variz, no entanto, na estrutura 2 é notório que a variz aumentou significativamente.

4.1.2.2 Caso 2

O segundo caso clínico tratava-se de um jovem de 18 anos, com uma visível dilatação da veia do membro inferior esquerdo. A recolha de dados do pré-operatório foi feita no pré-ambulatório da unidade de cirurgia do Hospital de Mirandela, e com o paciente inicialmente deitado na maca. As imagens do pós-operatório foram recolhidas também no pré-ambulatório de Mirandela numa consulta marcada para fazer apenas o exame termográfico 39 dias após a cirurgia.

O relatório do exame Eco-Doppler que avaliou o sistema venoso dos membros inferiores dizia:

Eco-Doppler Venoso dos Membros Inferiores

“Ausência de sinais de trombose venosa profunda, avaliada pela inexistência de trombo, alteração da compressibilidade venosa ou do fluxo, com manobras de compressão proximal e distal.

As crossas das safenas internas apresentam-se de calibre habitual observando-se insuficiência da crossa e troncolar à esquerda (em toda a extensão do tronco).

A crossa da safena interna direita apresenta-se competente.

As safenas externas não apresentam imagens de insuficiência safenopoplíteica bilateralmente.

Identificam-se perfurantes incompetentes à direita no terço distal da face interna da perna distando cerca de 8 cm na interlinha articular da tíbio-társica e à esquerda no terço distal da face interna da coxa em relação com o trajeto varicoso observado clinicamente no terço proximal e médio da face interna da perna.”

A figura 4.13 mostra o membro inferior esquerdo na zona da coxa, com o paciente deitado.

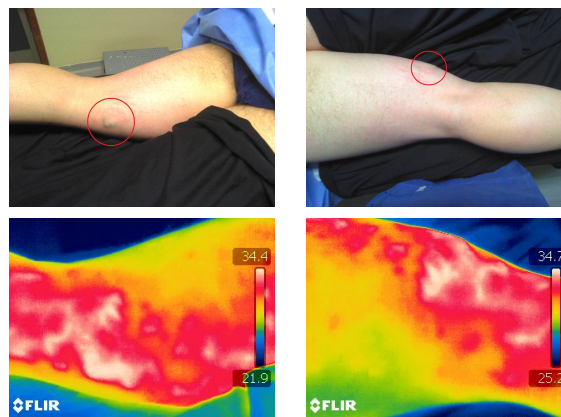


Figura 4.14: Perna esquerda do caso clínico 2 - deitado. A circunferência realça uma saliência da veia.

O paciente apenas possuía patologia na face interna da perna esquerda, a figura 4.15 mostra o antes e depois da cirurgia à perna de pé e a figura 4.16 mostra o mesmo mas deitado.

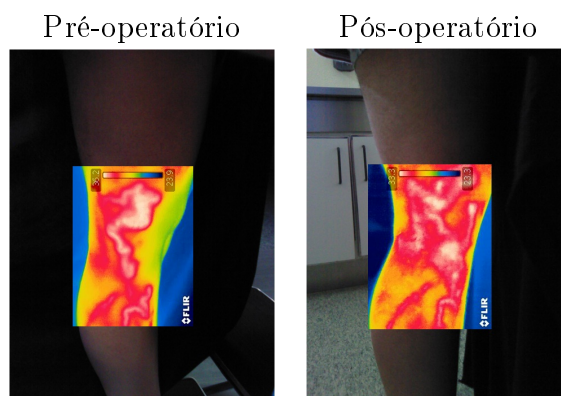


Figura 4.15: Perna esquerda do caso clínico 2 - de pé (antes e depois da cirurgia).

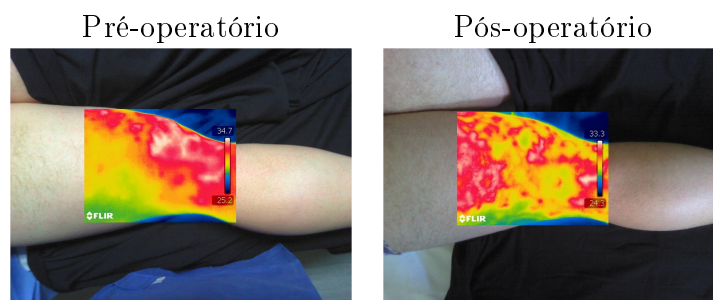


Figura 4.16: Perna esquerda do caso clínico 2 - deitado (antes e depois da cirurgia).

Esta patologia não é tão comum em pessoas tão jovens, como este caso, no entanto em pessoas com pré-disposição genética pode acontecer aparecerem varizes quando estas ainda são jovens, para além disso o paciente é um desportista.

A patologia é evidente e compatível com o Eco-Doppler. O objetivo da cirurgia era fazer uma safenectomia, ou seja resolver o tronco principal, daí haver comunicantes (ou veias colaterais) que agora estão mais evidentes, pois deixou de haver circulação sanguínea na veia principal. É opinião do cirurgião chefe que esta cirurgia foi bem sucedida. Este é um caso de um desportista que pouco tempo depois da cirurgia começou novamente a fazer exercício, ou seja, como o tronco principal da veia foi removido é normal as veias comunicantes apresentarem-se na termografia mais evidenciadas, mas que com o tempo é resolvido.

No caso 2, verificamos novamente que a câmara de termografia evidencia que a perna que não está indicada para cirurgia também revela varizes. Quando o paciente está deitado (figura 4.17) não se consegue ver, mas em pé (figura 4.18) a variz está bem identificada.

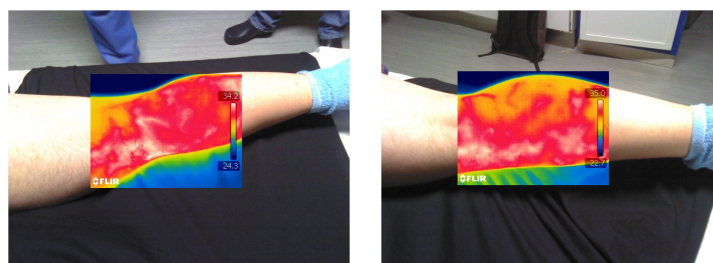


Figura 4.17: Perna direita do caso clínico 2 - deitado.

Neste caso foi possível ver também uma evolução da patologia no membro que não estava indicado para cirurgia.

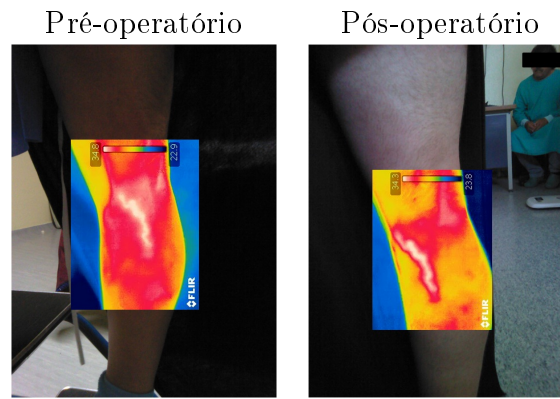


Figura 4.18: Perna direita do caso clínico 2 - em pé (antes e depois da cirurgia).

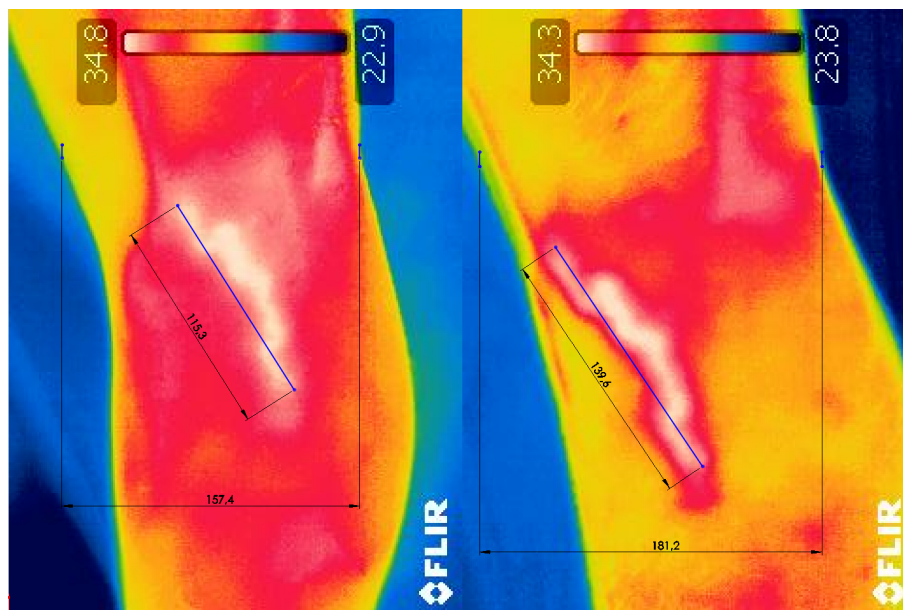


Figura 4.19: Perna direita. Evolução da variz antes e depois da cirurgia.

Usando novamente a semelhança de triângulos e admitindo uma margem de erro de $\pm 5\%$, verificando os valores obtidos na tabela 4.3 neste caso não é conclusivo que a variz tenha aumentado.

Tabela 4.3: Comparação do comprimento da variz (caso 2).

	Estado 1	Estado 2
b	157,4	181,2
a	115,3	139,6
$\frac{b}{a}$	1,4	1,3
Aumento (%)	5,2 %	

4.1.2.3 Caso 3

O terceiro caso clínico refere-se a uma paciente de 60 anos de idade, com indicação de cirurgia à perna direita. A recolha de imagens foi feita no pré-operatório

do Hospital de Bragança, e 18 dias depois foram recolhidas as imagens do pós-operatório na unidade de consultas externas do Hospital. Foi efetuado um estudo de angiodinografia, com Doppler pulsado e a cor (Triplex), do sistema venoso dos membros inferiores, utilizando uma sonda linear de alta resolução. Os achados do exame são os seguintes:

Membro Inferior Direito

“O eixo venoso profundo foi bem visualizado. Está permeável, compressível e os fluxos espontâneo, fásico e aumentado estão dentro dos limites da normalidade. Não detetamos a presença de refluxo com a manobra de Valsalva, nem com a descompressão dos gêmeos.

A crossa da safena interna e externa estão competentes, assim como os seus troncos.

Não detetamos veias perforantes insuficientes. Ligeiros trajetos varicosados.”

Membro Inferior Esquerdo

“Avaliamos o sistema venoso profundo a nível ileo-femoral e poplíteo apresentando os vasos ligeira dilatação com discreta regurgitação provocada por Valsalva. O sinal da compressão é negativo.

Estudamos seguidamente o sistema venoso superficial. A safena interna encontra-se ligeiramente dilatada, existem perforantes insuficientes de Cockett e envolvimento varicoso do arco posterior. Existe ainda um trajeto varicosado de irradiação posterior da coxa podendo corresponder à veia de Giacomini.”

Recolheram-se as imagens da perna esquerda (indicada para cirurgia, figura 4.20) e direita em vários ângulos com a paciente em repouso, no entanto não houve tempo para tirar imagens com a paciente em pé, pois o cirurgião apareceu naquele momento para fazer a marcação das varizes.

Apenas se conseguiu obter 1 imagem da perna esquerda com o paciente de pé. No pós operatório conseguiu-se obter vários ângulos desta perna em pé, pois a consulta foi marcada com a paciente apenas para fazer o exame termográfico. A figura 4.21 mostra o antes e depois da cirurgia e a marcação da variz antes da operação.

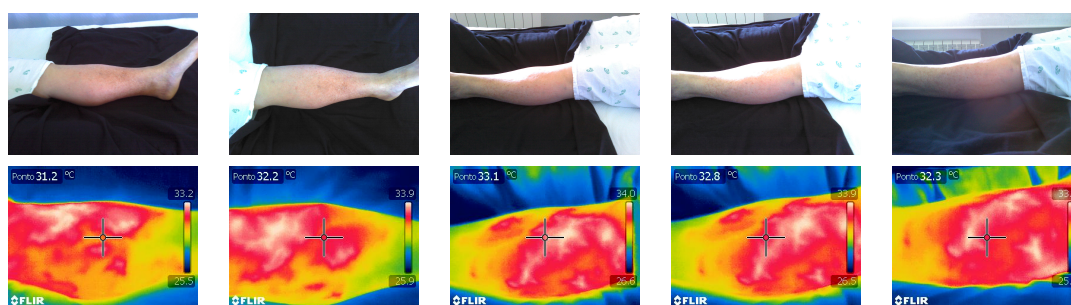


Figura 4.20: Perna esquerda do caso 3 antes da cirurgia (vários ângulos - deitada).

Nas imagens recolhidas com o paciente em repouso não se consegue tirar nenhuma conclusão.

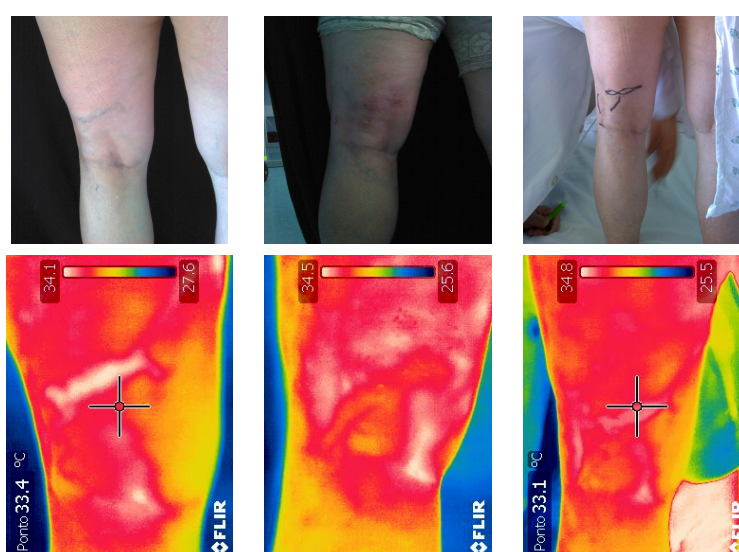


Figura 4.21: Perna esquerda antes e depois da cirurgia e marcação respetivamente (vista posterior).

Relativamente à figura 4.21 verifica-se uma melhoria na parte posterior do membro inferior, e que a marcação foi bem feita no local da variz, no entanto por falta de mais imagens não se pode concluir mais. Na consulta do pós-operatório a paciente afirmava sentir-se bem e livre de dores.

Neste caso foi muito notória uma das dificuldades encontradas, ou seja, a falta de tempo para se concluir o exame termográfico do pré-operatório.

4.1.2.4 Caso 4

Paciente do sexo feminino e de 62 anos, com indicação de cirurgia à perna direita. O exame termográfico foi feito no quarto da paciente antes de ir para a cirurgia (pré-operatório) no Hospital de Bragança, e 17 dias depois recolheram-se as imagens do pós-operatório na unidade de consultas externas do Hospital de Bragança.

Membro Inferior Direito

“Total integridade, permeabilidade e competência do sistema venoso profundo.

Junção Safeno-Femoral íntegra e hemodinamicamente incompetente.

Veia Safena Interna (VSI), ectasiada e hemodinamicamente incompetente na coxa e 1/3 superior da perna, onde origina varicosidades superficiais infrageniculares.

Junção Safeno-Poplítea íntegra e hemodinamicamente competente.

Veia Safena Externa (VSE) de diâmetro conservado e hemodinamicamente competentes em toda a sua extensão.”

Membro Inferior Esquerdo

“Total integridade, permeabilidade e competência do sistema venoso profundo.

Junção Safeno-Femoral íntegra e hemodinamicamente competente.

Veia Safena Interna (VSI), e suas tributantes, de diâmetro conservado e hemodinamicamente competentes em toda a sua extensão.

Junção Safeno-Poplítea íntegra e hemodinamicamente competente.

Veia Safena Externa (VSE), e suas tributantes, de diâmetro reduzido e hemodinamicamente competentes em toda a sua extensão.”

A conclusão retirada do relatório dizia que havia permeabilidade luminal e integridade hemodinâmica dos principais eixos venosos profundos e sistema das veias safenas externas de ambos os membros inferiores e do sistema da veia safena interna esquerda, havendo incompetência valvular da crossa e tronco da VSI direita e de tributárias associadas na perna.

A figura 4.22 mostra a perna direita do caso clínico 4 deitada em vários ângulos. Neste caso é possível visualizar a patologia nitidamente mesmo quando a paciente está deitada, ou seja, a recolha de imagens quando o paciente está em repouso pode ter um ou mais fatores que influenciem esta visualização. Quando o paciente está deitado a pressão venosa é mais passiva, não existindo tanta pressão sanguínea nas veias para o retorno venoso, tendo sido este o principal motivo pelo qual se pensava não haver muito interesse em observar os membros inferiores com o paciente deitado.

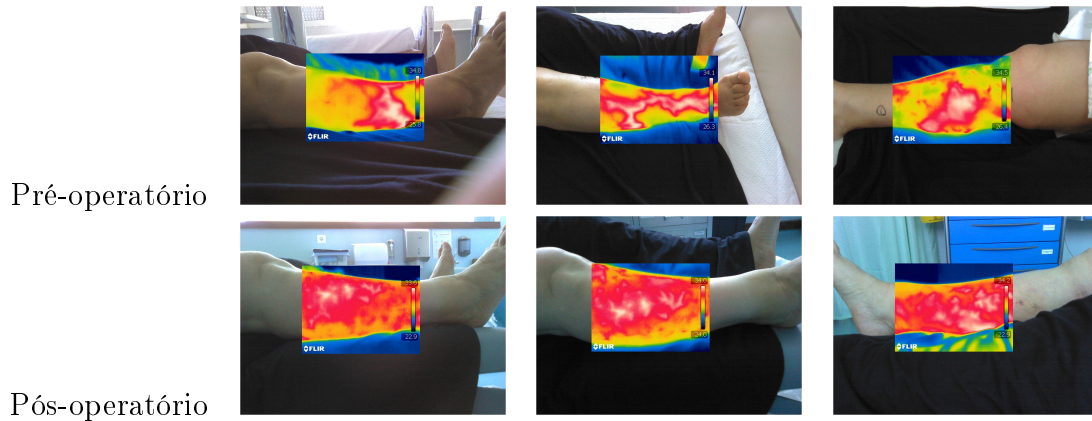


Figura 4.22: Perna direita do caso clínico 4 (vários ângulos - deitado).

Na figura 4.23 está a comparação do pré e pós-operatório do caso clínico 4. Este foi mais um caso em que se verificou uma melhoria significativa na perna após a cirurgia, observando-se no pós-operatório uma uniformização da temperatura superficial. Tendo em conta que estas imagens foram recolhidas 17 dias após a cirurgia, pode-se falar também na capacidade técnica do cirurgião.

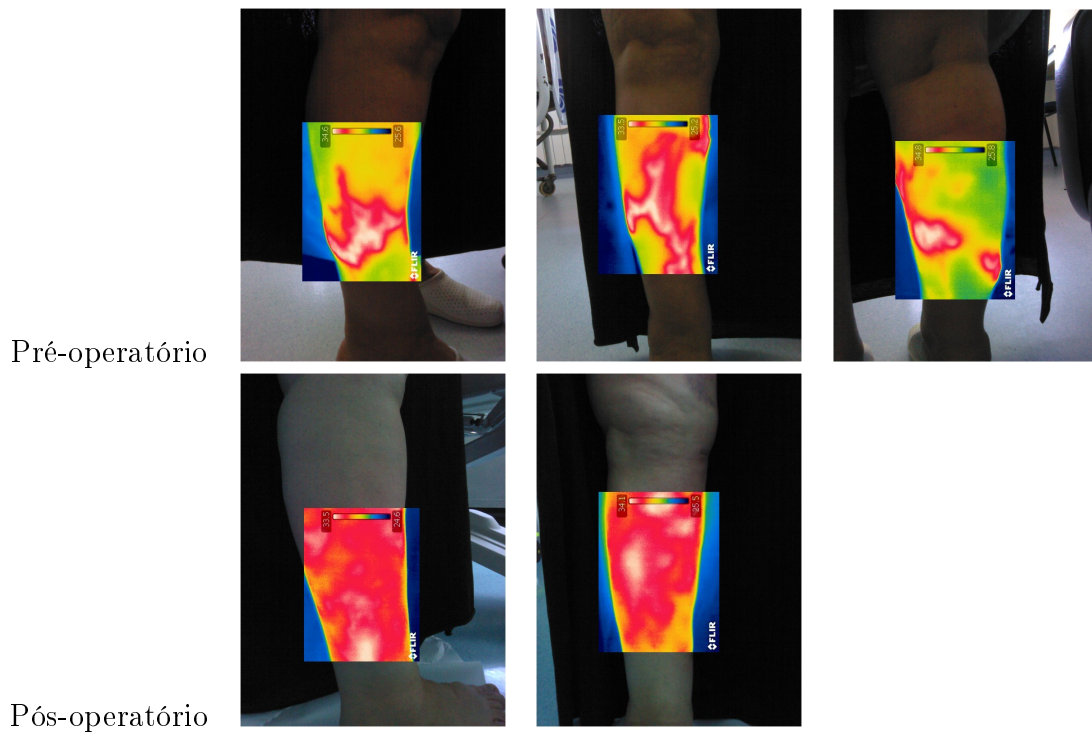


Figura 4.23: Perna direita do caso clínico 4 antes e depois da cirurgia (vistas lateral, anterior e posterior respetivamente).

No pós-operatório consegue-se visualizar melhor que existe também uma variz, causada principalmente pela sobrecarga na perna esquerda (figura 4.24), uma vez que o Eco-Doppler não indicou patologia quando foi realizado.

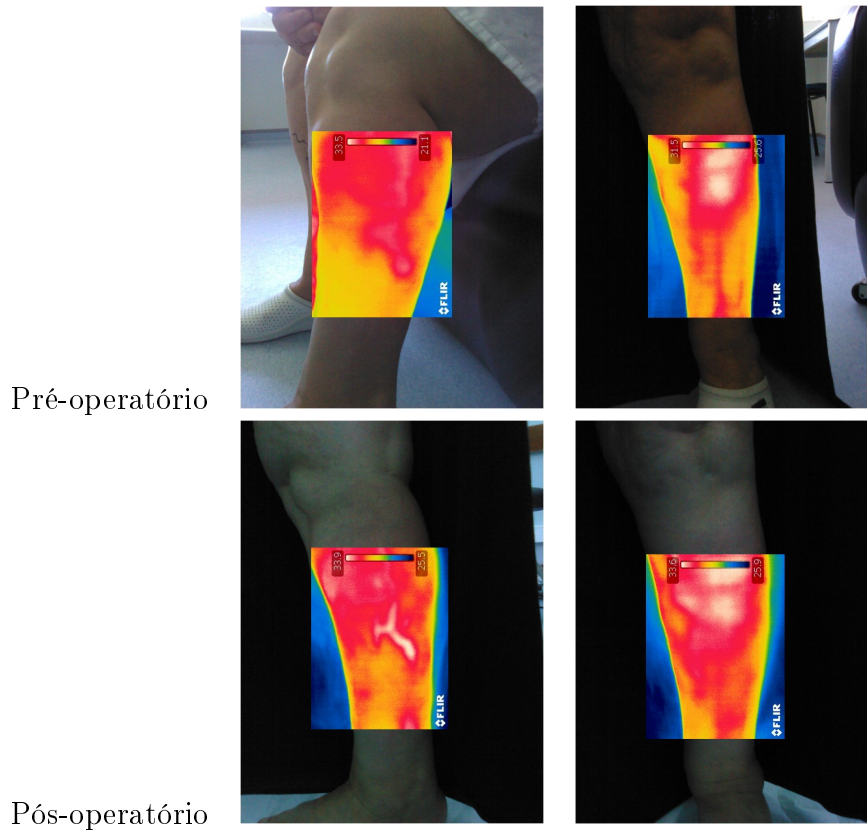


Figura 4.24: Perna esquerda do caso clínico 4 (vista lateral e anterior respetivamente).

4.1.3 Marcação de Varizes

Em alguns dos casos clínicos, surgiu a oportunidade de recolher imagens enquanto o cirurgião fazia a marcação das varizes com um marcador. Nas imagens que se seguem consegue-se ver que o médico através da informação fornecida pelo Eco Doppler e pela palpação, marca na perna dos pacientes linhas nos pontos mais quentes (zonas brancas) captados pela câmara.

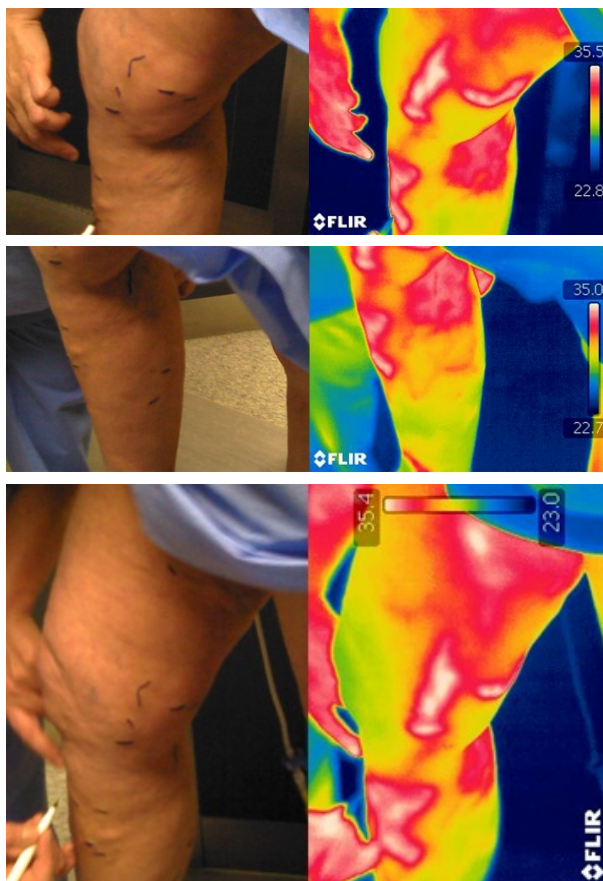


Figura 4.25: Marcações das varizes do caso 1.

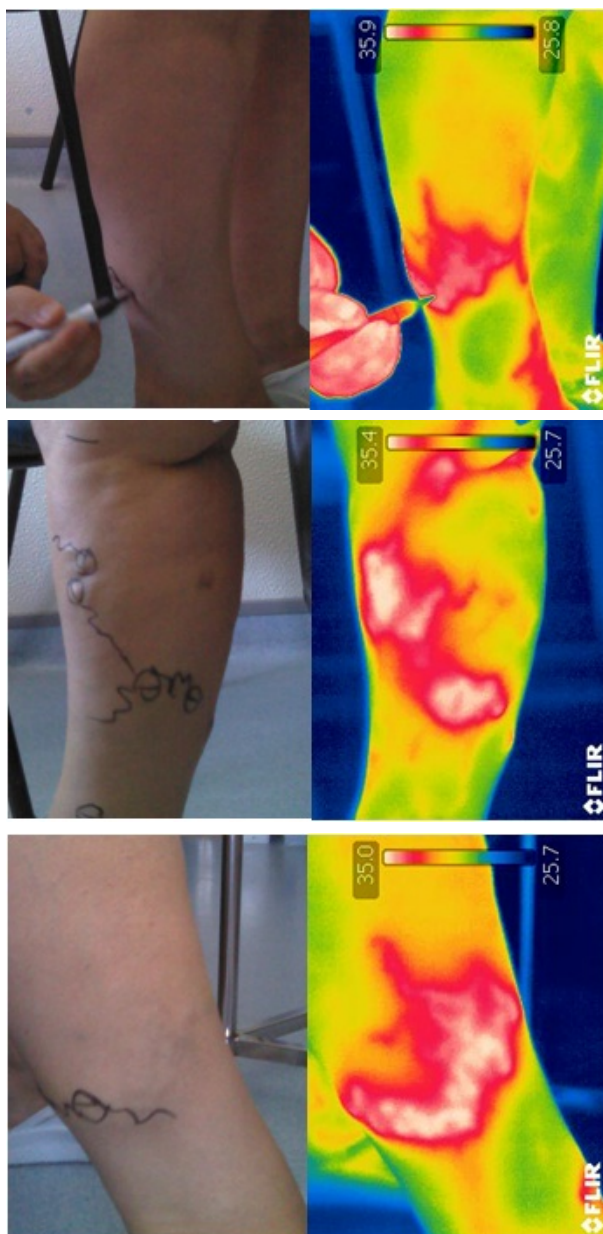


Figura 4.26: Marcações das varizes do caso 4.

4.1.4 Discussão de Resultados

Uma das principais conclusões retiradas destes testes preliminares é relativa ao posicionamento do indivíduo (de pé ou deitado) uma vez que quando o indivíduo estava com a perna pousada na maca, havia compressão no membro (músculos, veias, etc.) dificultando o retorno venoso.

Analisando todas as imagens recolhidas aos membros inferiores, dos indivíduos saudáveis e dos casos clínicos, chegou-se à conclusão que a recolha de dados quando o paciente está em repouso pode também ser relevante. Nos indivíduos saudáveis não era perceptível pois não havia patologia, no entanto, nos casos clínicos viu-se que mesmo em repouso era possível observar varizes. Fatores como a distância, o ângulo,

a captação de luminosidade, ou outros fatores que não se conseguiram averiguar por falta de tempo, podem estar envolvidos na recolha de dados. Verificou-se que de pé consegue-se visualizar melhor a patologia pois, como o fluxo sanguíneo aumenta, a pressão exercida nas veias devido ao mau retorno venoso fica mais evidente.

Em todos os casos houve melhoria da doença no membro operado. No entanto, excepto no caso 3, notou-se o agravamento das varizes identificadas no membro não indicado para cirurgia. Provavelmente tal deve-se à sobrecarga nesse membro enquanto a perna operada recupera da cirurgia. A recuperação depende principalmente de três fatores:

1. Da doença (*a severidade da patologia, como por exemplo, o caso 1 em que há complicações com o aparecimento de veias residuais, ou a existência de pré-disposição genética, como no caso 2*);
2. Do doente (*os cuidados que o doente tem após a cirurgia para uma boa recuperação, ou seja, ter uma vida ativa, sem sedentarismo, evitar excesso de exposição solar, evitar posições de pé ou sentado por longos períodos de tempo, boa dieta, etc.*);
3. Da capacidade técnica do cirurgião (*capacidade de avaliação e verificação dos resultados no intra-operatório, a perícia de quem opera, o diagnóstico visual quando faz a marcação, etc.*).

4.2 Ensaios à Articulação Temporomandibular

O primeiro estudo que se fez com a câmara de termografia InfraTec foi ao tempo de aclimação da face tendo em vista dois objetivos: determinação do tempo de aclimação e prática no manuseamento da câmara. Este ensaio foi feito durante uma semana em 4 voluntários. Para saber qual era o tempo de aclimação, foi desenhada uma linha na zona mandibular dos dois lados da face de 1 voluntário (ver figura 3.3). A evolução da temperatura ao longo de 20 minutos apresenta-se nas tabelas 4.1 e 4.2 para as faces direita e esquerda. As medições foram feitas de 5 em 5 minutos, e os valores da variação da temperatura que se apresentam resultam da expressão:

$$\tau = \frac{dT \text{ [}^\circ\text{C]}}{dt \text{ [s]}} \quad (4.2.1)$$

Onde dT/dt é a variação da temperatura temporal [$^\circ\text{C/s}$]. Verifica-se nas tabelas 4.1 e 4.2 que à medida que o tempo passa, a variação de temperatura é cada vez menor (milésimas de grau), considerando-se constante após 10 minutos.

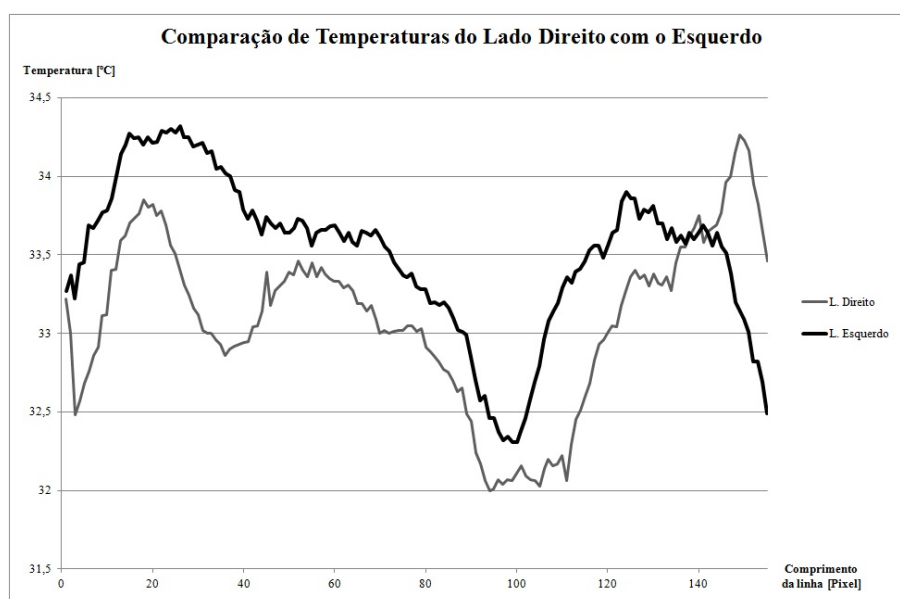
Tabela 4.4: Tempo de aclimação da face (lado direito).

Tempo [min]	Zona Mandibular (τ [°C/s])	Zona da ATM (τ [°C/s])
5	0,010	0,008
10	0,003	0,003
15	0,001	0,001
20	0,001	0,001

Tabela 4.5: Tempo de aclimação da face (lado esquerdo).

Tempo [min]	Zona Mandibular (τ [°C/s])	Zona da ATM (τ [°C/s])
5	0,009	0,008
10	0,004	0,003
15	0,001	0,001
20	0,001	0,001

A segunda fase do estudo à face consistiu em verificar a simetria dos dois lados da cara. Os ensaios feitos à ATM foram feitos em pessoas sem patologias, não havendo oportunidade de prosseguir esta linha de investigação. Mediu-se em 4 indivíduos saudáveis e as figuras que se seguem comparam a temperatura registada em ambos os lados da cara. Traçou-se uma linha na zona da mandíbula, como já foi dito no Capítulo 3, a cada pixel, sendo registado o valor da temperatura associada.

**Figura 4.27:** Evolução da temperatura ao longo do eixo de simetria (indivíduo 1).

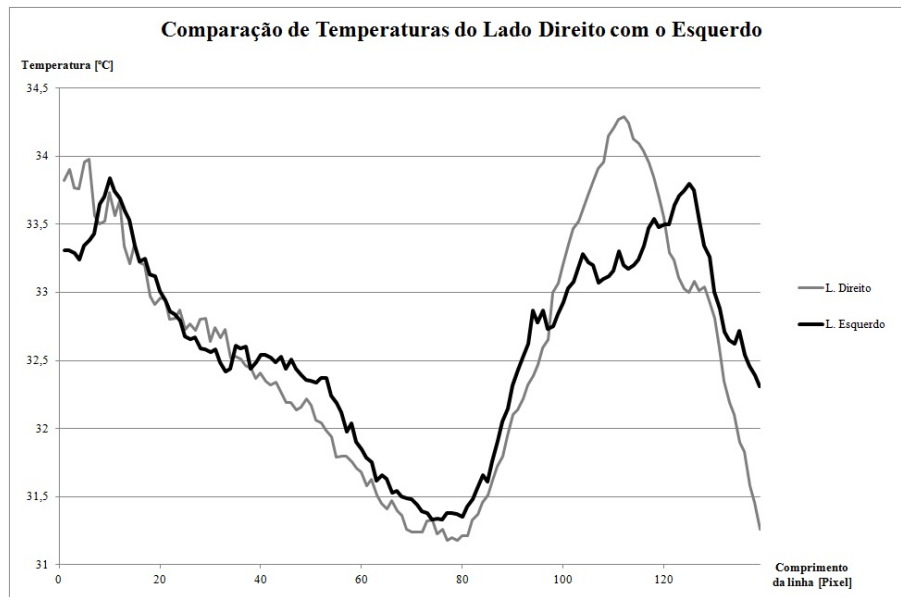


Figura 4.28: Evolução da temperatura ao longo do eixo de simetria (indivíduo 2).

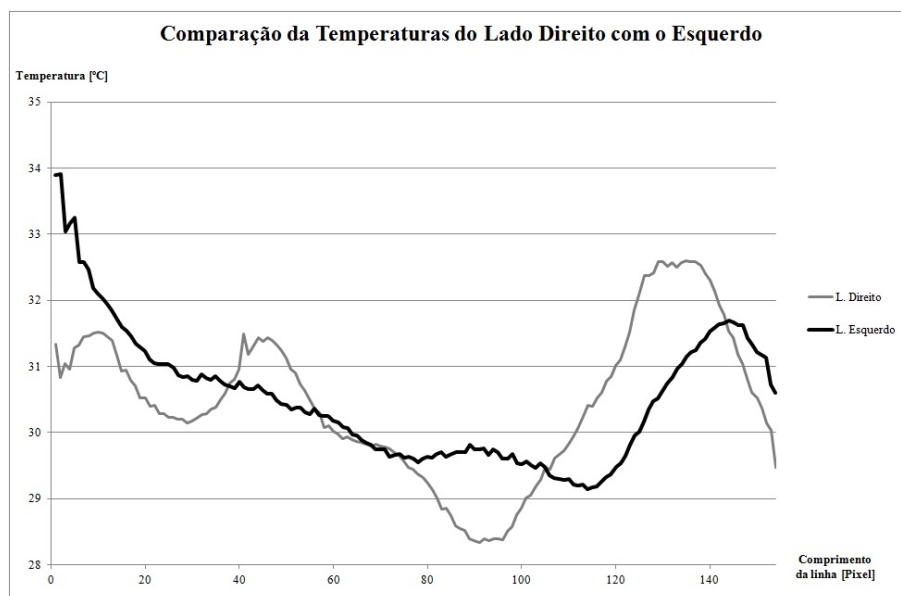


Figura 4.29: Evolução da temperatura ao longo do eixo de simetria (indivíduo 3).

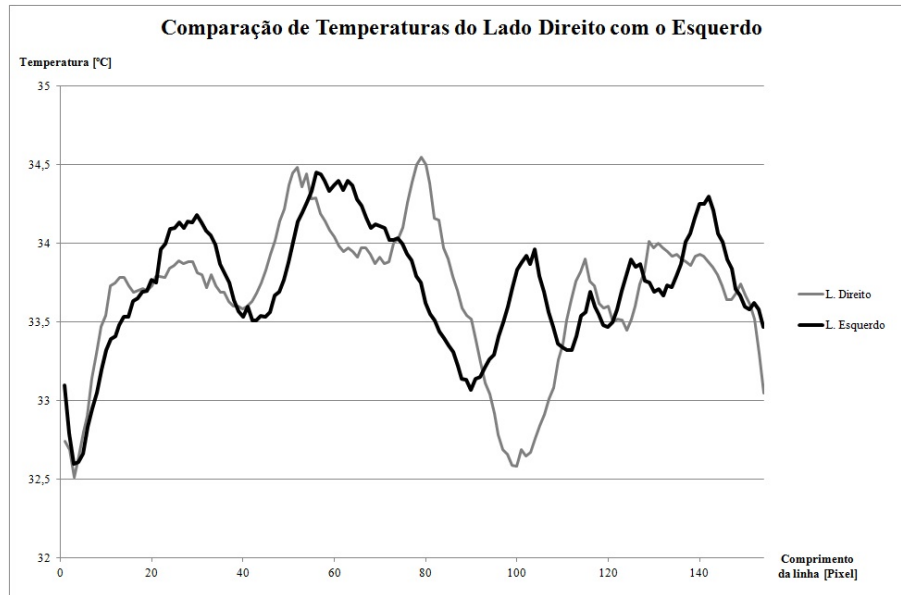


Figura 4.30: Evolução da temperatura ao longo do eixo de simetria (indivíduo 4).

A tabela 4.3 mostra a diferença média de temperatura verificada entre o lado esquerdo e o lado direito da cara, onde ΔT é a média da diferença de temperatura do lado esquerdo com o direito, e σ é o desvio padrão.

Tabela 4.6: Diferença média de temperatura nos dois lados da cara.

Indivíduo	$\overline{\Delta T}$ [°C]	σ [°C]
1	0,43	0,47
2	0,55	0,62
3	0,05	1,00
4	0,05	0,41
Média	0,27	0,63

Verifica-se em todos os casos que o lado esquerdo é mais quente que o lado direito, visto a diferença entre os dois dar sempre positiva. Considerando o que foi dito na secção 3.2 e de acordo com os resultados obtidos na tabela 4.3, pode então afirmar-se que existe assimetria facial nos indivíduos 1 e 2, os casos 3 e 4 assumem padrões normais de temperatura não havendo assimetria facial.

Capítulo 5

Conclusões

5.1 Conclusões

Neste trabalho foi proposta a realização de ensaios exploratórios usando a Termografia. Para isso aprendeu-se o domínio da técnica, o manuseio da câmara, além do tratamento e interpretação dos resultados, conseguindo-se assim desenvolver um protocolo experimental adequado aos ensaios efetuados. Nesse protocolo definiu-se o tempo de aclimação - 10 minutos - da superfície corporal através dos ensaios à ATM. Nos ensaios à ATM, para além do tempo de aclimação, concluiu-se que existe assimetria facial em 50% dos casos e padrões normais de simetria nos outros 50%.

Além da investigação à ATM, explorou-se a identificação de patologias nos membros inferiores, focando o caso das varizes. Definiu-se o posicionamento do membro tanto de pé como deitado. Concluiu-se dos ensaios que a posição ideal para a recolha de dados era de pé, quer indivíduos saudáveis, quer doentes. Nos casos clínicos era mais evidente que a melhor posição para recolher os dados era de pé uma vez que o mau retorno venoso exercia pressão do fluxo sanguíneo nas veias. Nos indivíduos saudáveis a alteração das imagens deve-se à compressão exercida pela perna em repouso.

Outros fatores como a distância da câmara ao objeto e o modo de fotografar foram definidos. Definiram-se ângulos e recorreu-se a superfícies negras para uma melhor captação de imagem. O uso do pano preto permitiu mitigar contaminações de outras fontes, como por exemplo, reflexão de luminosidade. Usaram-se distâncias diferentes de acordo com a câmara. Foi definida uma distância mais reduzida (0,50 m) quando se usou a câmara FLIR[®], e uma distância maior (2,50 m) com a câmara InfraTec dado estas duas câmaras terem sensibilidades térmicas diferentes.

A criação do protocolo de termografia mostrou-se eficaz na recolha de dados, e o resultado da captação de imagens e diagnóstico através desta técnica - satisfatória. A

técnica mostrou-se fiável no diagnóstico da patologia sendo possível aferir o sucesso da cirurgia. Através desta também foi possível identificar varizes que não tinham sido detetadas anteriormente no exame Eco-Doppler.

Através da termografia verificou-se o agravamento de varizes não identificadas no membro não indicado para cirurgia. Este agravamento pode ter sido causado por sobrecarga enquanto a perna operada recuperava da cirurgia. Observa-se também que esta técnica pode ser muito eficaz na marcação de varizes uma vez que a dificuldade de avaliar visualmente pode influenciar a sua marcação, e daí comprometer o sucesso da cirurgia.

Para além dos fatores que podem comprometer a cirurgia, como discutido na subsecção 4.1.4, considera-se também a doença. O doente poderá ter uma predisposição genética para a patologia. A recuperação da cirurgia depende da doença, do doente e dos cuidados que este tem após a cirurgia (e mais uma vez da perícia de quem opera).

Este trabalho levou à publicação de um artigo - *Diagnostic evaluation of chronic venous insufficiency cases using thermal imaging* - no VII EAT Congress on Thermology a realizar de 5 a 8 de Setembro de 2012 no Porto - Portugal.

5.2 Trabalhos Futuros

Para trabalhos futuros sugere-se a inclusão da termografia em consultas regulares de cirurgia como apoio no diagnóstico das varizes.

Também será importante desenvolver um suporte de ajuda na captação de imagens para haver sempre distância e ângulos fixos, eliminando-se o erro do operador. Os membros deverão ser fotografados com escalas para verificar se há evolução da patologia entre exames.

Futuramente deverá ser incluída no estudo uma maior população, permitindo a realização de análises estatísticas.

Sugere-se também levar uma câmara termográfica para o apoio no intra-operatório.

Os dias de aferição da recolha de dados do pós-operatório deverão ser iguais. A frequência da recolha de dados no pós-operatório deverá ser maior.

Os exames termográficos não vêm simplesmente substituir o exame Eco-Doppler porque dão informação complementar que esta técnica não responde, nomeadamente sobre a distribuição espacial dos vasos. Situações identificadas num membro saudável, mas com claros indícios da evolução desta patologia, poderão ser reequacionados do ponto de vista clínico. Recomenda-se uma maior proactividade para evitar situações como aparentemente registados no caso 1, em que se verificou o aumento da patologia na perna saudável por compensação no pós-operatório.

Bibliografia

- [1] Afonso, J. Termografia: teoria, procedimentos e vantagens. <http://www.iteag.net/termografia.pdf>, Fevereiro 2012.
- [2] Bagavathippan, S.; Saravanan, T.; Philip, J.; Jayakumar, T.; Raj, B.; Karunanithi, R.; Panicker, T.; Korath, M. P.; Jagadeesan, K. Infrared thermal imaging for detection of peripheral vascular disorders. *Journal of Medical Physics*, 34 (1):43–47, 2009.
- [3] Braga Filho, W. *Transmissão de calor*. Thomson Learning, 2004.
- [4] Bressman, P. Venous Disorders. <http://www.varicoseveindr.com/venous-disorders.php>, Junho 2012.
- [5] Coni, S. Answers To Questions About Varicose Veins. http://advancedveincare.com/varicose_veins_5.html, Junho 2012.
- [6] Diakides, N. A.; Bronzino, J. D. *Medical Infrared Imaging*. CRC Press, 2008.
- [7] Drake, R. L.; Vogl, W.; Mitchell, A. W. M. . *Gray's Anatomia para Estudantes*. Elsevier, 2nd edition, 2005.
- [8] Ferreira, N. R.; Pereira, Tiago. Ecografia venosa dos membros inferiores. [http://mednet.unic.pt/portal/server.pt/community/Diagnostico/Diagnostico-\\$Detail?idDiagnosticoDT0034_038](http://mednet.unic.pt/portal/server.pt/community/Diagnostico/Diagnostico-$Detail?idDiagnosticoDT0034_038), Junho 2012.
- [9] Fikackova, H.; Ekberg E. Can infrared thermography be a diagnostic tool for arthralgia of the temporomandibular joint? *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 98(6):643 – 650, 2004.
- [10] FLIR Systems. FLIR T365 Infrared Camera with Thermal Fusion, Delta T and Interchangeable Lens. http://www.flir.com/uploadedFiles/Thermography_APAC/Products/Product_Literture/FLIRJunho 2012.
- [11] Gloviczki, P.; Dalsing, M. C.; Eklof, B. G.; Moneta, G. L.; Wakefield, T. W. *Handbook of Venous Disorders*. Hodder Arnold, 3rd edition, 2009.

- [12] Health Scan. Pre-Thermographic Imaging Instructions. <http://www.thermographyonline.com/pre-exam-prep.html>, Maio 2012.
- [13] Hildebrandt, C.; Raschner, C.; Ammer, K. An overview of recent application of medical infrared thermography in sports medicine in austria. *Sensors*, 10(5): 4700–4715, 2010.
- [14] InfraTec Ltd. LimoLIT Infrared Thermographic Measuring System Automated Lock-in Thermography on Solar Cells - System Description. <http://www.ndtek.com/uploadfiles/down/2009-9/250425489531zvdy.pdf>, Junho 2012.
- [15] Jones, B.F. A reappraisal of the use of infrared thermal image analysis in medicine. *Medical Imaging, IEEE Transactions on*, 17(6):1019–1027, dec. 1998.
- [16] Jones, H. R. N. *Radiation Heat Transfer*. Oxford University Press, 1st edition, 2000.
- [17] Lahiri, B. B.; Bagavathiappan, S.; Jayakumar, T.; Philip, J. Medical applications of infrared thermography: A review. *Infrared Physics & Technology*, 2012.
- [18] Magalhães, B. F. T. Manutenção de Equipamentos de Blocos Operatórios - Caso do CHVNG/E. Tese de mestrado, Instituto Politécnico de Bragança, 2011.
- [19] Martins, M.C.F.; Ribeiro, L.M.F.; Cury, J. Diagnostic Evaluation of Chronic Venous Insufficiency Cases Using Thermal Imaging. Accepted June 2012 in the XII European Congress of Thermology.
- [20] Pereira, J.; Carvalho, P.; Santos, H. Termografia Infravermelho. in3.dem.ist.utl.pt/laboratories/01slides/6.pps, Junho 2012.
- [21] Perkins, J. M. Standard varicose vein surgery. *Phlebology - Venous Forum of the Royal Society of Medicine*, pages 34–41, 2009.
- [22] Qi, H.; Diakides, N. A. Infrared Imaging in Medicine. <http://www.iamtonline.org/pdfs/06thermography.pdf>, Junho 2012.
- [23] Ring, E. F. J. The historical development of temperature measurement in medicine. *Infrared Physics & Technology*, 49(3):297 – 301, 2007.
- [24] Rustemeyer, J.; Radtke, J.; Bremerich, A. Thermography and thermoregulation of the face. *Head & Face Medicine*, 3:17+, 2007.

- [25] Sanches, I. J. Sobreposição de Imagens de Termografia e Ressonância Magnética: uma nova modalidade de imagem tridimensional. http://files.dirppg.ct.utfpr.edu.br/cpgei/Ano_2009/teses/CPGEI_Tese_048-_2009.pdf, Janeiro 2012.
- [26] Soffin, C. B.; Morse, D. R.; Seltzer, S.; Lapayowker, M. S. Thermography and oral inflammatory conditions. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 56: 256–262, 1983.
- [27] Sousa, L. F. R. Aplicação de termografias no estudo do isolamento térmico de edifícios. Tese de mestrado, Universidade de Aveiro, 2010.
- [28] Tkáčová, M.; Hudák, R.; Foffová, P.; Zivcák, J. An Importance of camera - Subject distance and angle in musculoskeletal applications of medical thermography. http://www.aei.tuke.sk/pdf/2010-02/10_Tkacova.pdf, Fevereiro 2012.
- [29] Ulrike M. Hamper and M. Robert DeJong and Leslie M. Scutt. Ultrasound Evaluation of the Lower Extremity Veins. *Ultrasound Clinics*, 4(2):193–216, 2009.
- [30] WMED Prestação de Serviços Médicos, LDA. Papel da imagiologia no diagnóstico. <http://www.wmed.pt/servicos-clinicos/imagiologia>, Junho 2012.

Anexos

Neste capítulo estão as imagens que não são apresentadas no Capítulo 4.

Anexo A - Apresentação dos Resultados dos Indivíduos Saudáveis

As imagens que se seguem são do Indivíduo Saudável 1.

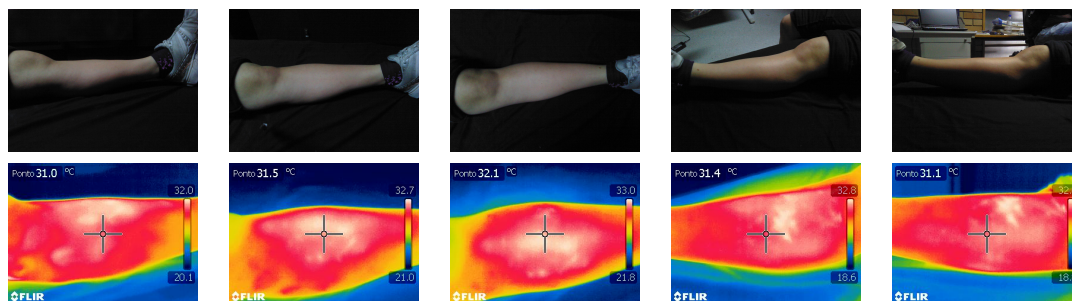


Figura 5.1: Perna esquerda do indivíduo saudável 1 (vários ângulos - deitado).

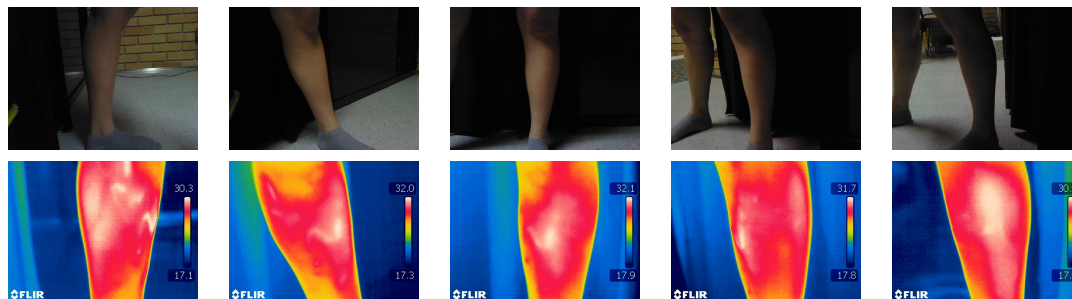


Figura 5.2: Perna esquerda do indivíduo saudável 1 (vários ângulos - em pé).

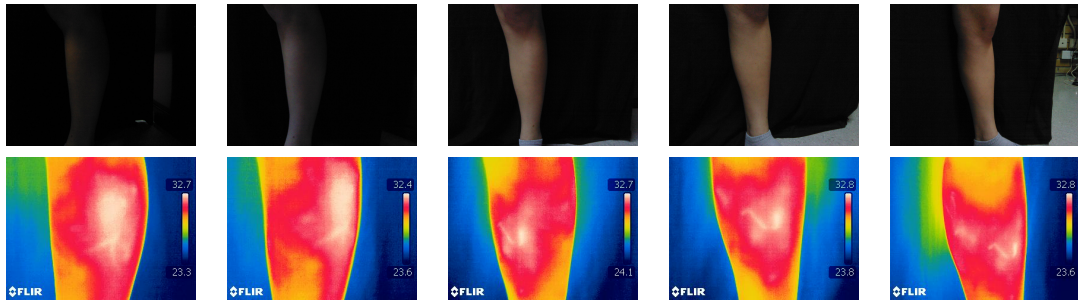


Figura 5.3: Perna esquerda do indivíduo saudável 1 (rotação do pano preto).

Seguidamente estão representadas as imagens do Indivíduo Saudável 2.

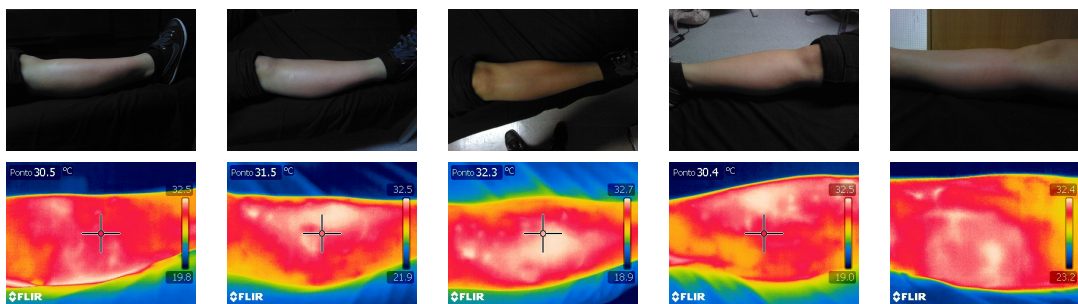


Figura 5.4: Perna direita do indivíduo saudável 2 (vários ângulos - deitado).

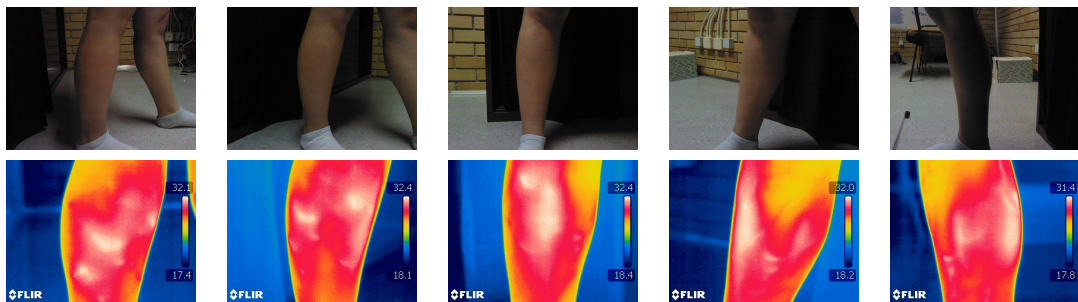


Figura 5.5: Perna direita do indivíduo saudável 2 (vários ângulos - em pé).

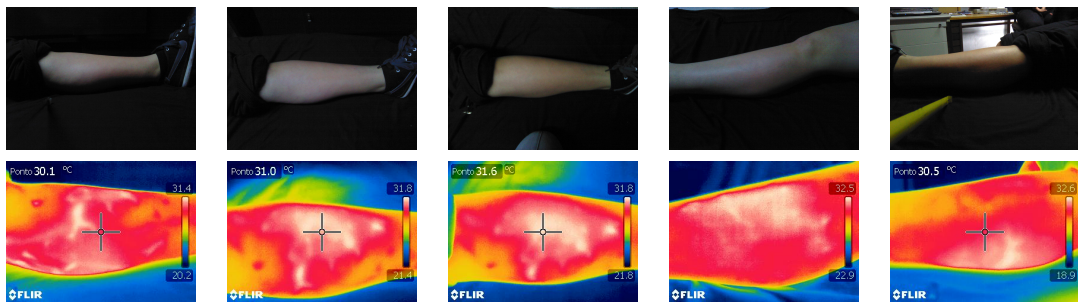


Figura 5.6: Perna esquerda do indivíduo saudável 2 (vários ângulos - deitado).

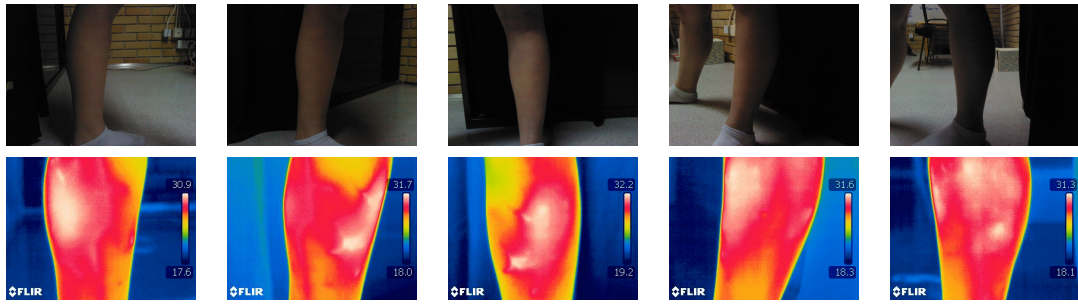


Figura 5.7: Perna esquerda do indivíduo saudável 2 (vários ângulos - em pé).

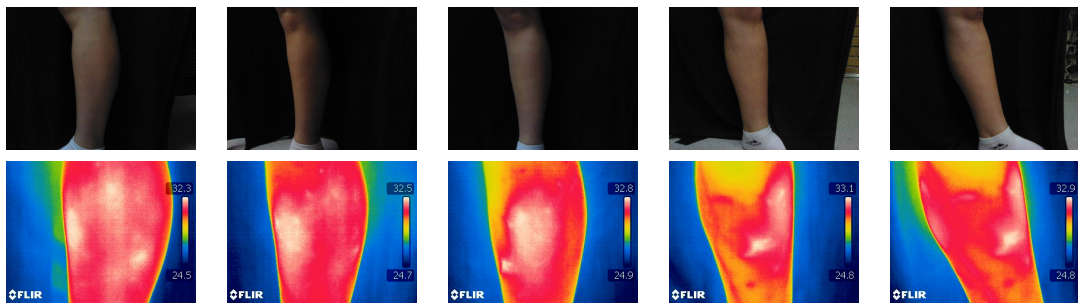


Figura 5.8: Perna esquerda do indivíduo saudável 2 (rotação do pano preto).

Imagens do Indivíduo Saudável 3.

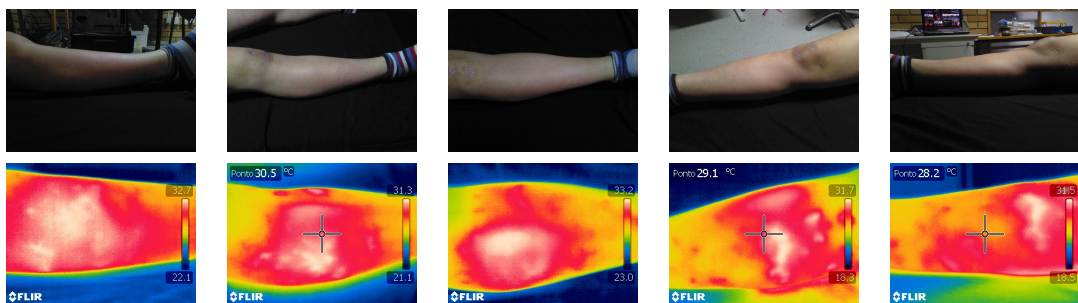


Figura 5.9: Perna direita do indivíduo saudável 3 (vários ângulos - deitado).

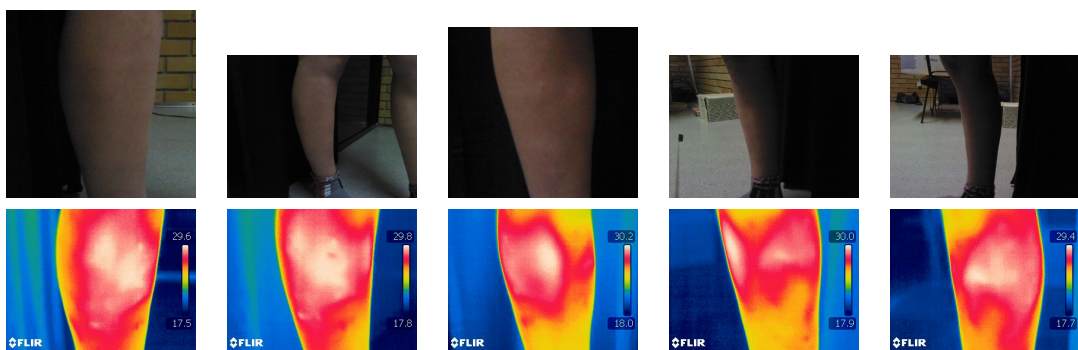


Figura 5.10: Perna direita do indivíduo saudável 3 (vários ângulos - em pé).

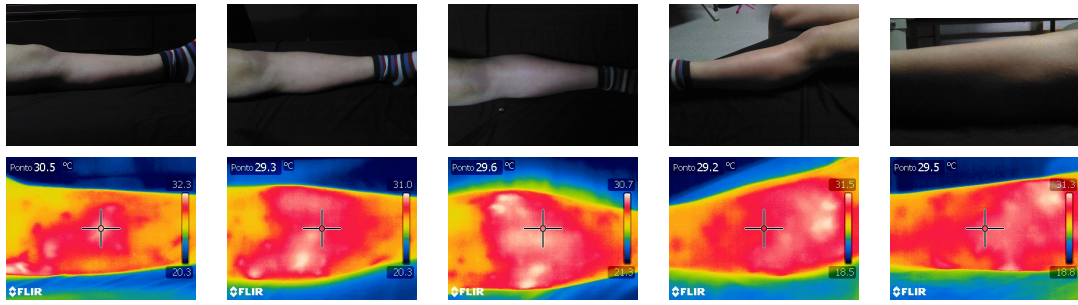


Figura 5.11: Perna esquerda do indivíduo saudável 3 (vários ângulos - deitado).

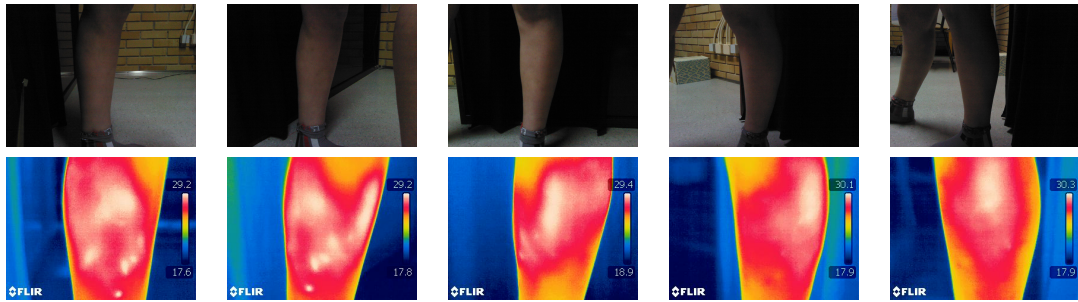


Figura 5.12: Perna esquerda do indivíduo saudável 3 (vários ângulos - em pé).

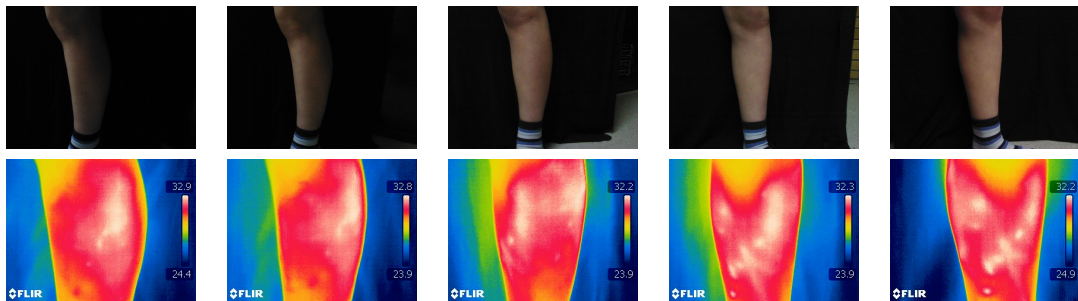


Figura 5.13: Perna esquerda do indivíduo saudável 3 (rotação do pano preto).

Imagens do Indivíduo Saudável 4.

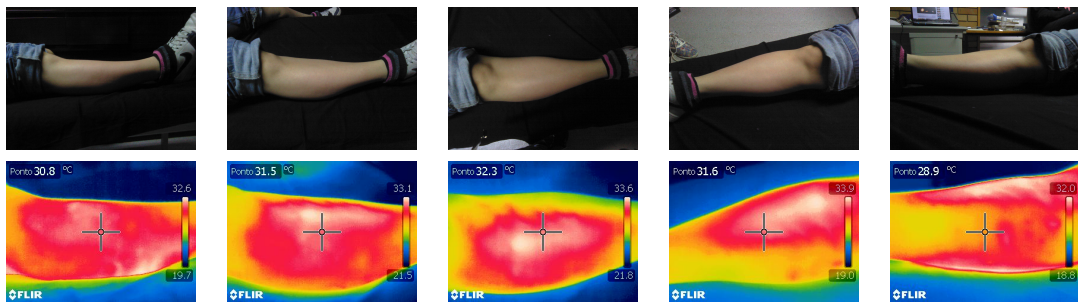


Figura 5.14: Perna direita do indivíduo saudável 4 (vários ângulos - deitado).

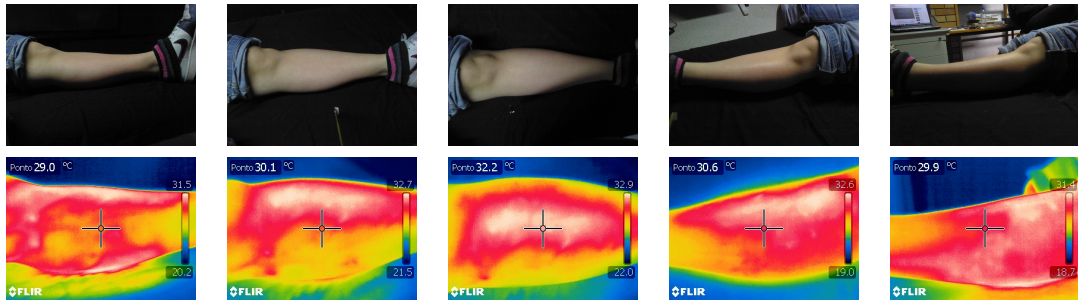


Figura 5.15: Perna esquerda do indivíduo saudável 4 (vários ângulos - deitado).

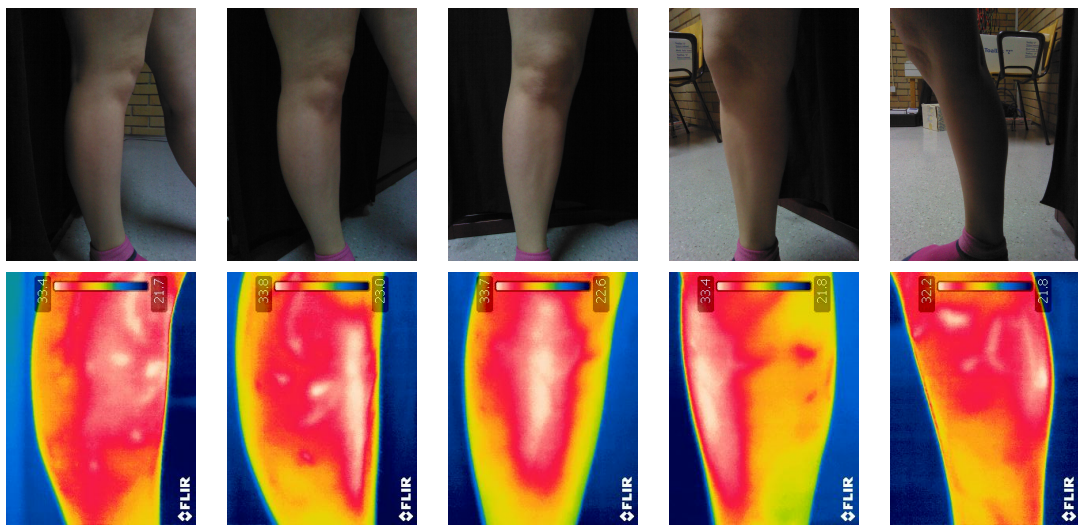


Figura 5.16: Perna direita do indivíduo saudável 4 (vários ângulos - em pé).

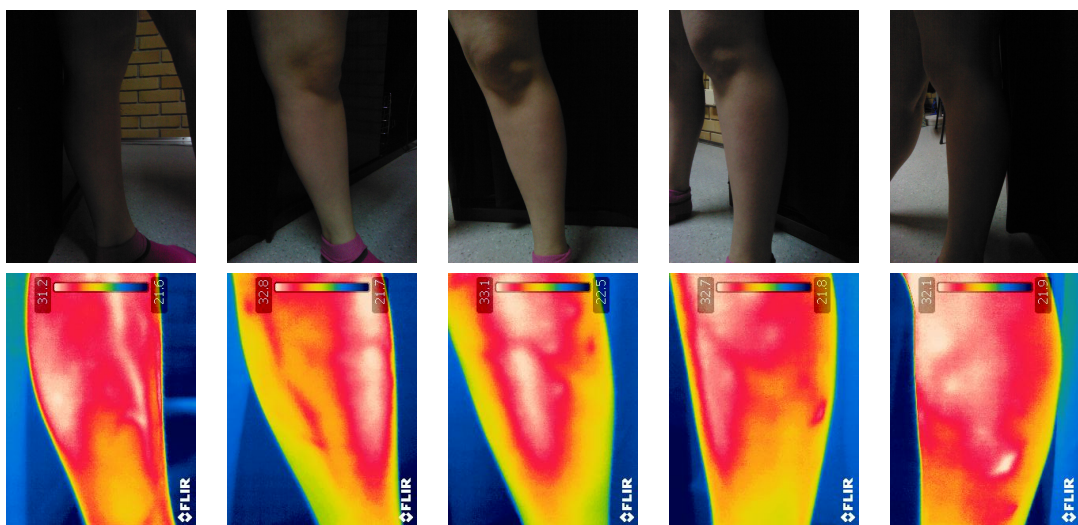


Figura 5.17: Perna esquerda do indivíduo saudável 4 (vários ângulos - em pé).

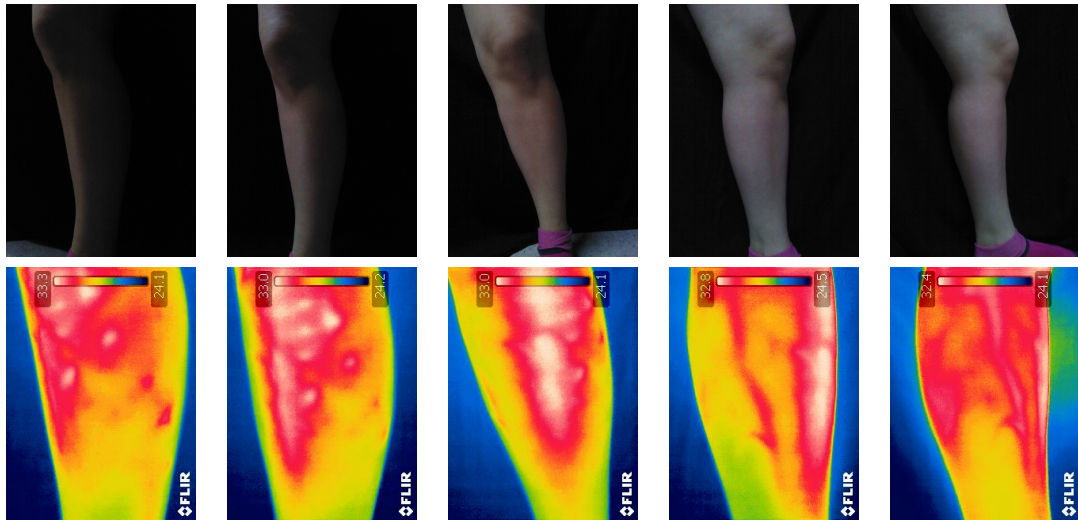


Figura 5.18: Perna esquerda do indivíduo saudável 4 (rotação do pano preto).

Anexo B - Apresentação dos Resultados dos Casos Clínicos

Imagens da perna esquerda (não indicada para cirurgia) em repouso do Caso 1.

Antes da Operação

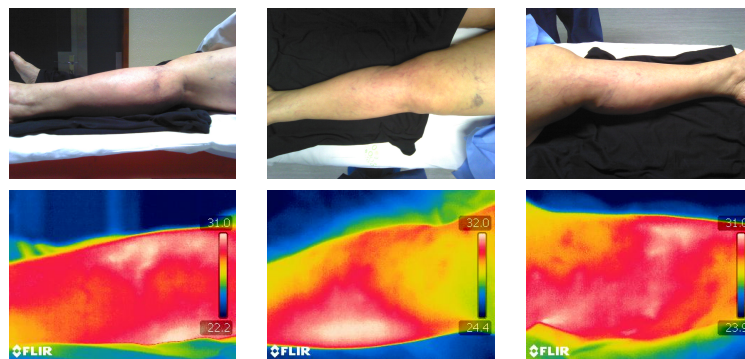


Figura 5.19: Perna esquerda do caso clínico 1 (vários ângulos - deitada) .

Depois da operação

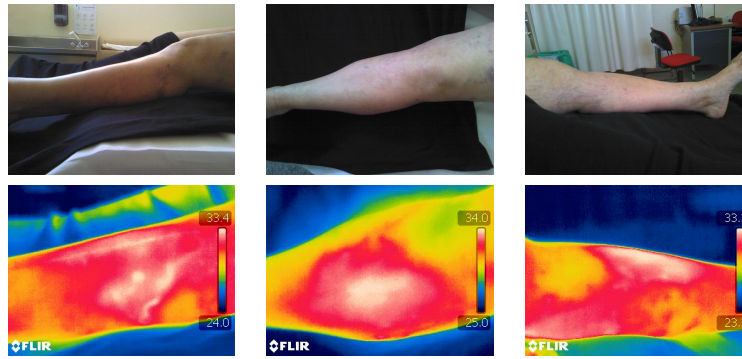


Figura 5.20: Perna esquerda do caso clínico 1 (deitado).

Imagens do pré-operatório do membro não operado (em repouso) do Caso 3.

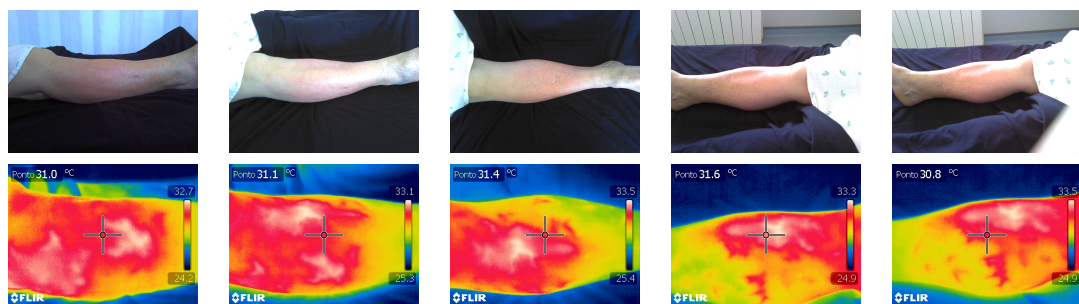


Figura 5.21: Perna direita do caso clínico 3 (vários ângulos - deitada).

Na figura 5.22 estão as imagens do membro não indicado para cirurgia (em repouso) no pré-operatório - Caso 4.

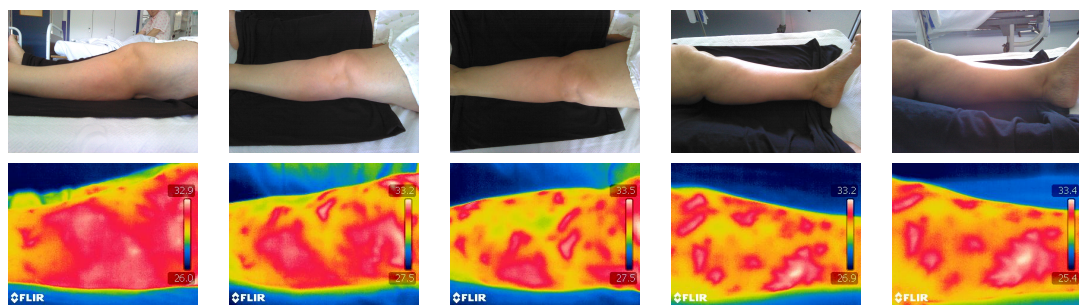


Figura 5.22: Perna esquerda do caso clínico 4 (vários ângulos - deitado) .