

A termografia por infravermelhos como ferramenta de análise na prática desportiva: estudo de um caso aplicado ao futsal

Versão final após defesa

Fábio Fernando Dinis Pinto Carvalho

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Bioengenharia
2º ciclo de estudos

Orientadores: Prof. Doutor Luís Carlos Carvalho Pires
Prof. Doutor Bruno Filipe Rama Travassos

Maio de 2021

Agradecimentos

Para a realização deste trabalho, não podia deixar de agradecer a algumas pessoas que, de alguma forma ou de outra, ajudaram-me para que este fosse possível.

Ao Professor Doutor Luís Carlos Carvalho Pires, orientador desta dissertação, que sempre esteve disponível a ajudar-me com ideias, sugestões e esclarecimento de dúvidas que foram aparecendo ao longo do trabalho, acompanhando desde o início a construção da presente dissertação, bem como a sua ajuda na recolha das imagens termográficas.

Ao Professor Doutor Bruno Filipe Rama Travassos, pelas orientações, sugestões de ideias e esclarecimentos para a realização deste trabalho.

Ao Treinador – Adjunto João Ribeiro, da Associação Desportiva do Fundão, pela sua simpatia e pela disponibilidade que ofereceu para a realização da componente prática desta dissertação. Uma palavra também aos atletas da Associação Desportiva do Fundão que tiveram presentes para a recolha das imagens e que demonstraram disponibilidade total para o efeito.

Um agradecimento também aos meus amigos mais próximos que, de alguma maneira, ajudaram-me e acompanharam-me nesta fase. E um agradecimento muito especial á minha família, nomeadamente á minha mãe e aos meus avós, que sem eles nada disto seria possível e foram determinantes para a conclusão desta etapa.

Obrigado

Resumo

Alterações térmicas em regiões específicas do corpo humano têm sido utilizadas ao longo dos anos como um indicador de diagnóstico de diversas patologias. Nesse sentido, tem sido desenvolvido inúmeras técnicas que permitem detectar esse diferencial de temperatura. Após esse efeito, é necessário procurar saber interpretar esses resultados, fazendo uma correlação entre estes e o desempenho funcional das regiões de interesse (ROI). A Termografia por Infravermelho é uma técnica que permite identificar essas variações térmicas de várias regiões, construindo uma imagem térmica da distribuição da temperatura superficial de um objecto.

No presente trabalho, pretendeu-se demonstrar, através dessa técnica, o registo térmico das ROI específicas de atletas de Futsal. Para isso, foi realizado um treino/jogo, fazendo o registo termográfico em 3 momentos distintos. Antes do treino, após o treino e 20 horas após o treino. Com isto, assegurou-se uma análise térmica do comportamento de regiões específicas e como estas se comportam nesse aspecto após uma prática desportiva e também como estas recuperam termicamente 20 horas após o exercício referido. Após a recolha das imagens térmicas, foi necessário a construção de um algoritmo, através da ferramenta Matlab, de modo que este limita-se as imagens térmicas às ROI pretendidas e a partir daí, fosse possível extrair todas as variáveis pretendidas, inclusive a construção de boxplots, para a posterior análise de resultados.

Com isto, pretendeu-se demonstrar as capacidades desta técnica, aliada á componente desportiva, de modo a que esta consiga tirar vantagens, em termos práticos, da análise termográfica dos atletas.

Palavras-chave

Termografia por Infravermelho, Análise, Temperatura, Região de Interesse

Abstract

Thermal changes in specific regions of the human body have been used over the years as an indicator for the diagnosis of various pathologies. In this way, numerous techniques have been developed to detect this temperature differential. After this, it is necessary to know how to interpret these results, making a correlation between them and the functional performance of the regions of interest (ROI). Infrared Thermography is a technique that allows identifying these thermal variations of several regions, building a thermal image of the surface temperature distribution of an object.

In this work, it was intended to demonstrate, through this technique, the thermal register of the specific ROI of Futsal athletes. For this, a training/play was carried out, making the thermographic recording in 3 different moments. Before the training, after the training and 20 hours after the training. This ensured a thermal analysis of the behavior of specific regions and how they behave in that regard after a sport and also how they recover thermally 20 hours after the exercise. After collecting the thermal images, it was necessary to build an algorithm, through the Matlab tool, so that it limits the thermal images to the desired ROI and from there, it was possible to extract all the desired variables, including the construction of BoxPlots, for the subsequent analysis of results.

With this, it was intended to demonstrate the capabilities of this technique, combined with the sports component, so that it can take advantage, in practical terms, of the thermal analysis of athletes.

Keywords

Infrared Thermography, Analysis, Temperature, Region of Interest

Índice

Capítulo 1 - Introdução	1
1.1. Perspectiva Geral.....	1
1.2. Enquadramento	2
1.3. Fundamentação Teórica	3
1.3.1. Técnica da termografia por infravermelhos	3
1.3.1.1. Princípios de Aplicação	4
1.3.1.1.1. Câmara Termográfica.....	4
1.3.1.1.2. Processamento e análise de imagens termográficas	6
1.3.1.1.3. Radiação Térmica	8
1.3.1.1.3.1. Lei de Planck.....	9
1.3.1.1.3.2. Lei de Wien.....	10
1.3.1.1.3.3. Lei de Stefan – Boltzmann	11
1.3.1.1.4. Emissividade	12
1.3.2. Termografia activa e passiva	13
1.3.3. Marcadores bioquímicos como auxílio da técnica da termografia por infravermelhos...	14
1.3.4. Factores que influenciam a termografia por infravermelhos.....	16
1.3.4.1. Factores ambientais	17
1.3.4.2. Factores individuais.....	18
1.3.4.3. Factores técnicos.....	18
1.3.5. Principais aplicações da termografia por infravermelhos	19
1.3.5.1. Aplicação na ciência	19
1.3.5.2. Aplicação na Segurança e Vigilância	23
1.3.5.3. Aplicações na construção Civil	24
1.3.5.4. Aplicações em sistemas de distribuição de fluidos	25
1.3.5.5. Aplicações em instalações eléctricas	26
1.3.6. Fisiologia Humana.....	28
1.3.6.1. Músculos predominantemente utilizados no futsal	28
1.3.6.2. Prevalência de lesões	30
1.3.6.3. Termorregulação.....	31
1.4. Revisão Bibliográfica	33
1.5. Objectivos do presente trabalho	37
1.6. Organização do documento.....	37
Capítulo 2 – Materiais e Métodos.....	39
2.1. Amostra	39
2.2. Equipamento	40
2.3. Condições do local de aquisição	42
2.4. Treino específico dos atletas.....	43
2.5. Protocolo experimental.....	43

2.5.1. Material utilizado.....	43
2.5.2. Regiões de Interesse (ROI)	43
2.5.3. Procedimento Experimental.....	44
2.6. Definição e selecção da região de interesse	44
2.7. Algoritmo de análise e processamento dos termogramas	45
Capítulo 3 – Analise e discussão de resultados	48
3.1. Análise do comportamento térmico nos 3 momentos de recolha dos atletas	48
3.2. Análise do comportamento térmico antes do treino e após o treino	53
3.3. Análise do comportamento térmico após o treino e 20 horas após o treino	55
Capítulo 4 - Conclusão	59
4.1. Perspectivas futuras	60
Referências Bibliográficas	61
Anexos	67
Anexo 1 - Algoritmo utilizado no Matlab.....	67
Anexo 2 - Boxplots das regiões de interesse de todos os atletas	70

Índice de figuras

Figura 1 - Ilustração do Sistema FPA (<i>Focal Plane Array</i>).....	5
Figura 2 - Imagem térmica da face anterior dos membros inferiores de um atleta de futsal.....	7
Figura 3 - Comprimento de onda do espectro visível.....	8
Figura 4 – Espectro da radiação de um corpo negro para diversas temperaturas	10
Figura 5 – Picos do comprimento de onda para 300 K, 310 K e 320 K	11
Figura 6 – Variação da emissividade em função do ângulo de observação para alguns não metais: madeira (1); papel (2); vidro (3).....	13
Figura 7 – Uso da termografia na detecção do cancro da mama.....	20
Figura 8 – Uso da termografia durante um procedimento cirúrgico.....	20
Figura 9 – Uso da termografia na observação do úbere da vaca	21
Figura 10 – Telescópio espacial WISE	22
Figura 11 – Termografia na detecção de alvos	23
Figura 12 – Aplicação da termografia na análise de telhados.....	24
Figura 13 – Aplicação da termografia em válvulas.....	25
Figura 14 – Análise termográfica em componentes eléctricos	26
Figura 15 – Imagem termográfica de um cabo eléctrico	27
Figura 16 – Músculos isquiotibiais.....	29
Figura 17 – Músculos dos quadríceps	29
Figura 18 – Câmara termográfica: Modelo FLIR E50	41
Figura 19 - Termohigrómetro	42
Figura 20 – Local de aquisição das imagens termográficas	43
Figura 21 – Selecção das ROI das imagens termográficas.....	45
Figura 22 – Selecção da ROI do termograma no Matlab.....	46
Figura 23 – Valores das variáveis pretendidas de uma ROI específica apresentados no Matlab	47
Figura 24 – Boxplot da ROI seleccionada	47
Figura 25 – Boxplot da face anterior da coxa direita do atleta nº6 nos 3 momentos, antes do treino, após o treino e 20 horas após o treino	48
Figura 26 – Boxplot da face anterior da coxa esquerda do atleta nº6 nos 3 momentos, antes do treino, após o treino e 20 horas após o treino	49
Figura 27 – Boxplot da face posterior da coxa direita do atleta nº6 nos 3 momentos, antes do treino, após o treino e 20 horas após o treino	49
Figura 28 – Boxplot da face posterior da coxa esquerda do atleta nº6 nos 3 momentos, antes do treino, após o treino e 20 horas após o treino	50
Figura 29 – Boxplot da face anterior da coxa direita do atleta nº4 nos 3 momentos, antes do treino, após o treino e 20 horas após o treino	51
Figura 30 – Boxplot da face anterior da coxa esquerda do atleta nº 4 nos 3 momentos, antes do treino, após o treino e 20 horas após o treino	51
Figura 31 – Boxplot da face posterior da coxa direita do atleta nº4 nos 3 momentos, antes do treino, após o treino e 20 horas após o treino	52

Figura 32 – Boxplot da face posterior da coxa esquerda do atleta nº 4 nos 3 momentos, antes do treino, após o treino e 20 horas após o treino	52
Figura 33 – Boxplot da face anterior da coxa direita do atleta nº1 em 2 momentos, antes do treino e após o treino	53
Figura 34 – Boxplot da face anterior da coxa direita do atleta nº2 em 2 momentos, antes do treino e após o treino	54
Figura 35 – Boxplot da face anterior da coxa direita do atleta nº5 em 2 momentos, antes do treino e após o treino	54
Figura 36 – Boxplot da face anterior da coxa direita do atleta nº1 em 2 momentos, após o treino e 20 horas após o treino.....	54
Figura 37 – Boxplot da face anterior da coxa esquerda do atleta nº1 em 2 momentos, após o treino e 20 horas após o treino.....	56
Figura 38 – Boxplot da face posterior da coxa direita do atleta nº1 em 2 momentos, após o treino e 20 horas após o treino.....	56
Figura 39 – Boxplot da face posterior da coxa esquerda do atleta nº1 em 2 momentos, após o treino e 20 horas após o treino.....	57
Figura 40 – Boxplot da face posterior da coxa direita do atleta nº5 em 2 momentos, após o treino e 20 horas após o treino.....	57
Figura 41 – Boxplot da face posterior da coxa esquerda do atleta nº5 em 2 momentos, após o treino e 20 horas após o treino.....	58

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Principais características físicas da amostra	40
Tabela 2 – Características principais da FLIR – E50	40

Índice de equações

Equação 1 - Equação da conversão para níveis de cinzento	6
Equação 2 – Equação da radiação espectral de um corpo negro	9
Equação 3 – Equação da radiação espectral de um corpo negro em função do comprimento de onda.....	9
Equação 4 – Equação da radiação espectral de um corpo negro em função da emitância radiante espectral	9
Equação 5 – Equação da lei de Wien	10
Equação 6 – Equação da lei de Stefan - Boltzmann	11
Equação 7 – Equação da Lei de Stefan – Boltzmann, sabendo a emissividade do material.....	12
Equação 8 – Equação da emissividade	12

Lista de Acrónimos

ROI – Region of interest

Si – Silício

Ge – Germânio

FPA – Focal plane array

RBG – red/green/blue

CIE – International Commission on Illumination

K – Kelvin

°C - Celsius

CK – Creatinofosfoquinase

LDH – Lactato desidrogenase

AST – Aspartato aminotransferase

Mb – Mioglobina

PK – Piruvato quinase

IACT – International Academy of Clinical Thermology

WISE – Wide – field Infrared Survey Explorer

IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers

NCBI – National Center for Biotechnology Information

MRI – Magnetic Resonance Imaging

TC – Tomografia computadorizada

SDRC – Síndrome da dor regional complexa

RMN – Ressonância magnética nuclear

CSV – Comma – separated values

Capítulo 1 - Introdução

1.1. Perspectiva Geral

É do conhecimento geral que o estudo e a observação do comportamento humano tem sido usado ao longo do tempo como forma de explorar as suas capacidades físicas. Diferentes técnicas, acompanhadas com o avanço tecnológico, têm sido usadas para melhor compreender a fisiologia humana e como esta se comporta face a estímulos ou situações que são acompanhadas com diferentes reacções do corpo. Entender esta acção – reacção pode ser profícuo a resultados positivos e concretos, nas mais diferentes áreas. Na área desportiva, muitas vezes estes resultados estão muitas ligados ao sucesso em ter o menor numero de lesões possíveis e/ou retirar o maior rendimento desportivo do atleta.

Ao longo dos anos, têm sido desenvolvidas diversas técnicas, capazes de prevenir e diagnosticar, com uma certa antecedência, inúmeras lesões físicas. Sobretudo na área desportiva, onde a maioria das lesões são de natureza musculoesquelética, é essencial haver um controlo para precaver possíveis lesões. Isto resultará numa maior protecção a um activo importantíssimo em qualquer desporto, como é o caso do atleta, capitalizando assim um maior rendimento do mesmo. Neste sentido, é necessário definir o conceito que advém da palavra “lesão”. Segundo Schimdt-Olsen (1991) [1], uma lesão desportiva é qualquer dano resultante da participação no desporto, afectando uma ou mais zonas do corpo, originando uma redução do nível de actividade, necessidade de cuidados ou aconselhamento médico ou, ainda, efeitos sociais e económicos adversos. E nesse sentido, os desportos onde as lesões são mais prevalentes são aqueles onde há um maior contacto físico ou aqueles onde há mais exigência funcional e estrutural elevada sobre o atleta, como por exemplo o Futebol, o Rugby, o Basquetebol, a Natação, a Ginástica, o Ténis, o Andebol e o Futsal.

Sendo assim, ainda na questão física, um atleta, de modo geral, tem diferentes zonas do corpo onde há mais risco de lesão ou desgaste muscular, proporcionando assim um decréscimo ao nível do rendimento. Entender e procurar métodos que consigam identificar esses mesmos pontos específicos e conhecer qual o tempo de recuperação que estes necessitam, para prevenir qualquer problema físico agravado, é fulcrar a nível prático de qualquer modalidade de forte teor físico.

1.2. Enquadramento

Uma das actividades físicas mais exigentes actualmente é o Futsal, onde as suas características específicas, em que por exemplo os jogadores realizam deslocamentos de ritmo intermitente, mudanças repentinas de direcção, contacto com a bola e com o próprio adversário, onde muitas vezes é praticado em espaços mais curtos, com uma exigência competitiva bastante alta, o tornam bastante propício ao aparecimento de lesões. Outras variáveis importantes, tais como a ocorrência de treinos diários e jogos semanalmente, provocando grande desgaste e pouco tempo de recuperação, têm um papel fulcral na ocorrência de lesões. De modo geral, as lesões existentes no futsal encontram-se predominantemente nos membros inferiores. Mais especificamente, no tornozelo, onde muitas vezes ocorrem entorses, lesões dos ligamentos do joelho, tendinites, fracturas ou luxações. Para além das possíveis lesões físicas que possam aparecer nestas regiões, são estas também que são fundamentais para a execução dos diferentes movimentos de forma eficiente. Sendo que, ao estarmos a falar de uma das modalidades mais praticadas em todo o mundo, estas condicionantes influenciam um grande número de atletas que usufruem e vivem deste desporto [2][3].

Contudo, no futsal, o controlo dos aspectos físicos mas também técnicos e táticos que incidem nesta modalidade tornam-se fundamentais para os resultados práticos da equipa. Observarmos e analisarmos essas variáveis é fulcral para a própria equipa técnica na obtenção do máximo rendimento dentro da quadra. Assim, tão importante como o risco do aparecimento de lesões, é a observação do rendimento desportivo do atleta, sendo esta componente, a base do sucesso de qualquer modalidade desportiva. Em termos práticos, é possivelmente o factor mais significativo para o aparecimento de resultados positivos, quer a nível colectivo como em termos individuais. Para ser possível maximizar esta rentabilização, muitas vezes é possível fazer uma correlação entre as alterações térmicas do atleta em determinadas regiões específicas do corpo e a produtividade prática do mesmo. Para isso, é necessário entender quais as regiões anatómicas mais relevantes inseridas nesta modalidade e como elas se comportam termicamente após a prática desportiva [4].

Esta dissertação visa explorar a aplicação da termografia por infravermelho na componente desportiva, observando assim as alterações térmicas que surgem em determinadas regiões de interesse após um jogo/treino. Deste modo surgiu a necessidade de desenvolver um protocolo, segundo as normas de aquisição de imagens termográficas aceites na literatura. Pretendeu-se ainda utilizar a ferramenta Matlab, construindo um algoritmo que permitiu o tratamento das imagens termográficas, proporcionando assim a monitorização digital das mesmas, visando o estudo térmico de determinadas regiões de interesse e como estas são influenciadas ao nível da temperatura. Com isto, é possível demonstrar que a termografia por Infravermelhos pode ser bastante relevante e funcional para a análise térmica do atleta, tirando com isso as devidas conclusões a nível desportivo.

1.3. Fundamentação Teórica

Para entender melhor o funcionamento desta técnica e como ela pode ser utilizada na prática, é necessário compreender os princípios teóricos inerentes á mesma, de que maneira é possível utiliza-la nas diferentes áreas e como esta é incorporada na fisiologia do atleta, tirando partido dessa correspondência.

1.3.1. Técnica da termografia por infravermelhos

A termografia por infravermelhos é um método não invasivo que pode ser empregue para a avaliação e medição da temperatura da pele, detectando a emissão de calor da superfície do corpo sob a forma de radiação infravermelha. Por ser um método bastante preciso e seguro, tem sido cada vez mais utilizado na área medica para observar alterações fisiológicas e funcionais, tendo uma importância bastante grande no diagnóstico complementar e nas avaliações de modalidades terapêuticas, sendo já considerando um método de diagnóstico pela *American Medical Association* desde 1987. No artigo de revisão de Brioschi, *et al* (2007) [5], é mencionado um diverso número de patologias onde a imagem termográfica por infravermelhos pode e tem sido utilizada como um auxílio para o diagnóstico e tratamento destas doenças. Esta técnica pode ser utilizada em situações em que a variação da temperatura da pele pode indicar alguma condição anormal, possuindo assim a capacidade de prevenir lesões e avaliar áreas onde o diagnóstico muitas vezes é baseado em queixas subjetivas e difíceis de analisar.

Desde os tempos primórdios da medicina, que a alteração da temperatura corporal tem sido estudada e indicada como um forte indicador de doença, ou patologia. Um exemplo disso é a descoberta e a utilização do termómetro. Com a termografia por infravermelhos, foi alcançado um novo nível, abrindo, assim, novas portas à medicina. Agora, é possível representar a distribuição da temperatura corporal tão detalhadamente, de forma rápida e directa. Para além da recolha da temperatura em si, é possível relacionar esta com outro tipo de informações metabólicas, como por exemplo a circulação sanguínea, permitindo assim avaliar fenómenos fisiológicos comuns, ou então analisar processos inflamatórios e detectá-los antecipadamente [6].

Ou seja, de forma sucinta, a termografia por infravermelhos é uma técnica não-ionizante, sem contraste, que é capaz de medir a temperatura da pele com uma alta precisão, através de imagens de alta resolução. Para além da digitalização destas, é possível quantificar a informação em tempo real, conseguindo distinguir as diferenças de temperatura menores do que 0,07 °C em menos de 0,03 segundos [7] [8]. Além disso, o objetivo desta técnica não é substituir o exame clinico, mas sim aperfeiçoá-lo e, através da informação obtida em tempo real, poder ser

usada como *feedback* instantâneo para o objetivo em estudo, seja ele diagnóstico de lesões, otimização do desempenho desportivo de um atleta ou até mesmo observar zonas localizadas onde ocorre mais fadiga no atleta, relacionando com o seu tempo de recuperação. No futsal, modalidade analisada neste trabalho, a termografia tem sido utilizada sobretudo para o diagnóstico e avaliação de lesões musculares nos membros inferiores.

1.3.1.1. Princípios de Aplicação

No que diz respeito ao funcionamento da termografia em si, esta contém conceitos que gerem e produzem os resultados que se pretende obter. Neste caso, para esta técnica funcionar correctamente, está inerente a ela a tecnologia necessária, e todos os seus componentes, o funcionamento do processamento da imagem e as suas noções teóricas que a sustentam e os princípios intrínsecos à radiação térmica que servem como diferencial para as restantes técnicas análogas.

1.3.1.1.1. Câmara Termográfica

A Termografia por Infravermelhos é uma técnica que capta a radiação na faixa do infravermelho, entre $7,5 \mu\text{m}$ – $13 \mu\text{m}$, emitido pelo corpo humano, oferecendo assim uma imagem que representa uma distribuição térmica da superfície cutânea. A temperatura da pele, quando está sujeita a condições ambientais controladas, é influenciada sobretudo pela actividade do sistema circulatório da mesma e pela produção de calor de tecidos abaixo da pele, ou seja, pela termorregulação. Contudo, factores externos tais como a temperatura atmosférica do local onde nos encontramos influencia o nosso sistema corporal. Essas alterações de temperatura são possíveis observar nos termogramas

Ao longo dos anos, têm sido desenvolvidos diversos equipamentos que nos possibilitam medir a temperatura num exato momento. Medir, por exemplo, a temperatura de um ponto na superfície, ao longo de uma linha da mesma ou até mesmo a recolha da temperatura de uma região limitada, tem sido inúmeras vezes utilizado para a captação de uma determinada área térmica. Sendo assim, a câmara termográfica é o dispositivo mais vezes utilizado neste tipo de situações, onde esta capta e converte a radiação infravermelha emitida numa área em uma imagem térmica, instantaneamente.

Este aparelho possui diversos componentes internos que possibilitam o seu funcionamento. Entre eles, está um detector que transforma em sinal eléctrico a radiação que recebe. Esse sinal eléctrico será posteriormente transformado em uma imagem térmica. Um dos primeiros

componentes a serem utilizados pela câmara termográfica na captação de imagem é a própria lente. Esta desempenha um papel crucial neste tipo de equipamento pois é aqui por onde passa pela primeira vez a radiação infravermelha da área em estudo. Os materiais mais utilizados para constituir este tipo de lentes são o silício (Si), o germânio (Ge), compostos de zinco, fluoreto de cálcio, entre outros. Isto porque, devido às características específicas do vidro, este apresenta propriedades de absorção e refração que não são ideais para o efeito. Por isso mesmo, as lentes das câmaras termográficas não são compostas por matérias convencionais. Estes materiais utilizados, para além de não quebrarem facilmente, estão directamente ligados a uma elevada transmissão de infravermelhos e a um alto índice de refração [9] [10] [11].

De seguida, a radiação que atravessa a lente é direccionada para um detector que produz um sinal eléctrico. Grande parte das câmaras termográficas actualmente usam um detector térmico, onde este gera um sinal eléctrico em função da sua própria temperatura, que vai aumentando consoante a radiação infravermelha assimilada pelo dispositivo. Em geral, o seu funcionamento baseia-se nas alterações da resistência eléctrica com a temperatura. Neste tipo de sistemas, FPA (*Focal Plane Array*), representado na figura 1, este tipo de detectores utiliza uma matriz bidimensional de sensores para captar, instantaneamente, todos os pontos da imagem. O número de sensores utilizados neste tipo de detectores influencia directamente a qualidade da imagem obtida. Portanto, quanto mais sensores houver, ou seja, quanto maior for a resolução do detector, maior será a qualidade de imagem. Esta resposta dada pelo detector é processada originando assim uma imagem térmica [12] [13].

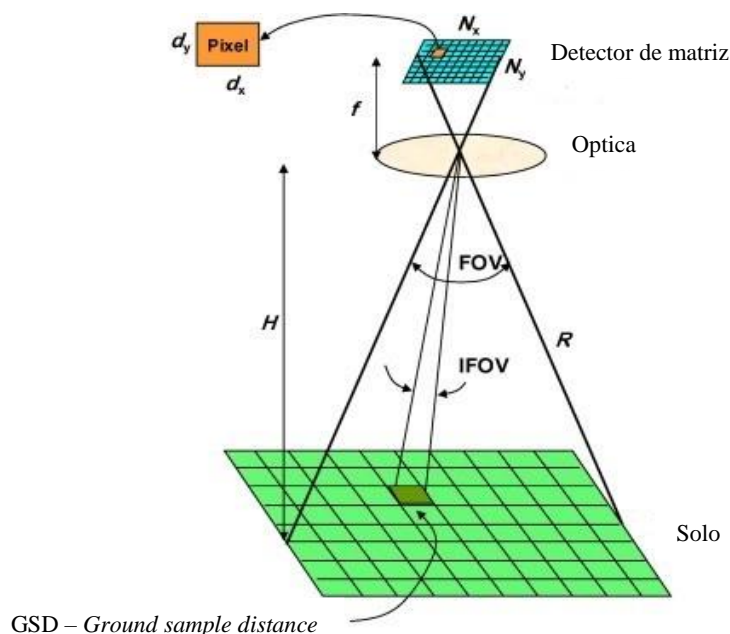


Figura 1 [imagem editada] - Ilustração do Sistema FPA (*Focal Plane Array*)[14]

Hoje em dia, os equipamentos actuais possuem diversos controlos que permitem ao utilizador ajustar diferentes parâmetros que se adequam á situação em estudo, como por exemplo a emissividade, polaridade, nível térmico, foco térmico, distância focal, entre outros. De um modo geral, este tipo de dispositivo possui mais componentes específicas tais como: filtros especiais, de modo a obter uma medição correcta, um ecrã onde é possível visualizar a imagem térmica captada, onde a sua resolução não tem influência sobre a qualidade da imagem térmica, e um sistema de armazenamento de dados onde é possível armazenar, em imagem ou em formato vídeo, os resultados obtidos [15]

1.3.1.1.2. Processamento e análise de imagens termográficas

No que diz ao processamento e análise de imagens, esta é uma área de computação que procura transformar e analisar imagens cujo objectivo é extrair, a partir das mesmas, informações significativas. Após uma recolha das imagens, é fulcral que estas sejam processadas de forma correcta para evitar resultados incorrectas.

Numa imagem termográfica, cada pixel é associado a um valor de temperatura, ou seja, na prática, regiões de vascularização excessivas no corpo humano são detectados na termografia como pontos quentes, designados como *hot spots*, que indicam áreas com maior circulação sanguínea local, devido a processos inflamatórios. Pelo contrário, pontos frios, chamados de *cold spots* indicam regiões de vascularização deficientes, ou até mesmo evidenciando casos de necrose [8]. Nesta técnica, as câmaras térmicas utilizam um sensor com uma resposta na faixa do infravermelho (comprimento de onda entre 0,75 μm e 1000 μm) para converter a radiação térmica, que é emitida pela superfície da pele, em sinais eléctricos. Posteriormente, estes sinais são quantificados e transformados em forma de imagem. Se a imagem for na escala de cinza, as regiões mais quentes são, habitualmente, representadas geralmente com tons de cinza escuro e as regiões mais frias são representadas com tons de cinza claro [16].

Para reproduzir esses pixéis, o seu processo de apresentação passa sobretudo por 2 representações díspares. Há uma representação espacial, definida matematicamente por uma função f com duas variáveis que são as coordenadas x e y . Esta função $f(x,y)$ dá-nos a posição de cada pixel da imagem. Por sua vez, a representação da intensidade mostra que cada ponto é representado por um valor representando os níveis de cinzento. Nas imagens a cores, cada ponto é representado não por 1 mas por 3 valores inteiros representando cada uma das cores primárias; vermelho, verde e azul, designando assim o sistema RGB – *Red/Green/Blue*. O principal objectivo deste sistema é reproduzir as cores em diversos dispositivos electrónicos. Contudo, devido à maior sensibilidade do olho humano ao verde, a conversão para níveis de cinzento é determinada através da seguinte fórmula [17] [18] [19]:

$$I = 0,3R + 0,59G + 0,11B$$

[equação 1]

Em suma, as imagens térmicas, como por exemplo está representado na figura 2, são interpretações da temperatura superficial onde cada valor dessa temperatura será articulada a uma determinada cor, de acordo com a paleta de cor escolhida pelo utilizador. Esse processo de formação de imagem térmica, que já foi referido anteriormente, é utilizado para o cálculo da temperatura, utilizando a emissividade e diversos parâmetros de correlação, seguindo-se do armazenamento do ficheiro final.

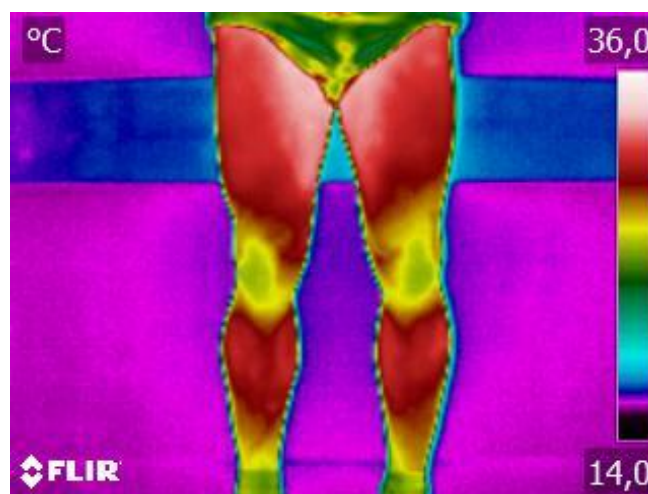


Figura 2 - Imagem térmica da face anterior dos membros inferiores de um atleta de Futsal

Para a posterior análise das imagens termográficas, há um conjunto de programas computacionais que possibilitam fazer essa mesma observação de forma eficiente. Muitas vezes, como por exemplo os modelos das câmaras termográficas FLIR, dispõem de *softwares* que fazem a análise termográfica das imagens recolhidas, extraindo assim os valores das variáveis que o utilizador pretende saber. No entanto, como é demonstrado nesta dissertação, é possível fazer essa mesma análise através de outros *softwares*, como por exemplo a partir da ferramenta Matlab, construindo assim um algoritmo onde seja possível seleccionar diferentes zonas de formas irregulares da imagem e assim retirar diferentes dados da temperatura da região seleccionada, assim como diferentes interpretações gráficas da mesma.

1.3.1.1.3. Radiação Térmica

A radiação térmica, ou transmissão de calor por radiação, ocorre sem contacto físico entre diferentes corpos, através de ondas eletromagnéticas. Contudo, o olho humano apenas consegue ver a luz visível com um comprimento de onda aproximadamente entre 400 nm (azul) e 750 nm (vermelho), conforme é ilustrado na figura 3.

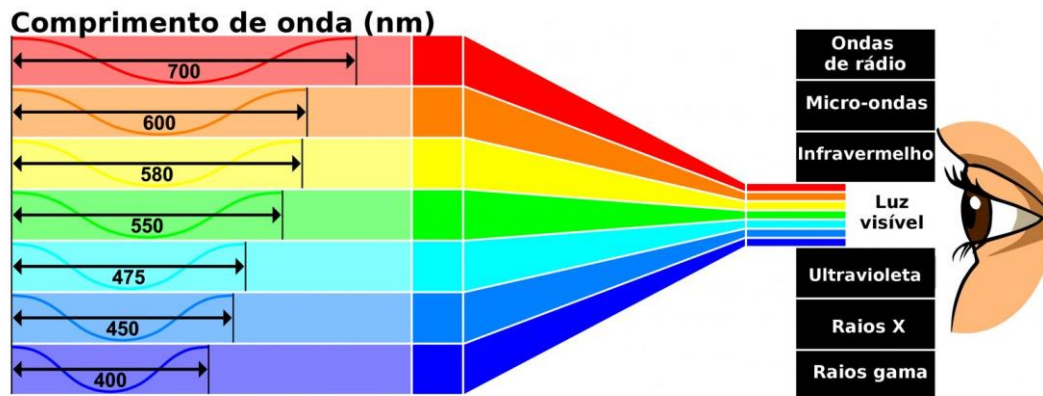


Figura 3 - Comprimento de onda do espectro visível [20]

Por outro lado, o vermelho é a cor do comprimento de onda mais larga da luz visível compreendida entre 620 nm a 750 nm. Porém, quanto maior for a temperatura do objecto, mais radiação infravermelha este emite. Grande parte da transmissão de calor por radiação é transmitida pela luz infravermelha, fora do espectro visível aos nossos olhos. Como é possível observar, através da figura 3, esta está localizada entre a luz visível e as micro-ondas, com um comprimento de onda aproximadamente entre 700 nm a 1000 nm, segundo o *International Commission on Illumination* (CIE)

Esta radiação infravermelha é emitida por todos os corpos com uma temperatura superior a zero absoluto (0 K ou $-273.15\text{ }^{\circ}\text{C}$), consequência de uma agitação dos átomos e moléculas do próprio corpo. A intensidade desta radiação é dependente da própria temperatura do objecto e da sua capacidade em emitir radiação. No caso do ser humano, a emissividade da pele é de 0,98. Neste caso, a energia emitida pelo corpo humano é directamente proporcional à sua área exposta e à quarta potência da sua temperatura, visto que a sua emissividade é constante [21][22]. Ou seja, a termografia por infravermelhos capta essa radiação infravermelha e converte numa imagem, onde esta vai representar a temperatura da zona em estudo. Isto vai permitir observar a imagem térmica dessa radiação que não é visível ao olho humano, devido à sua faixa espectral.

Em equilíbrio térmico, um corpo negro é capaz de absorver toda a radiação incidente, qualquer que seja o comprimento de onda. Também emite mais radiação que qualquer outro corpo à mesma temperatura. Essa radiação emitida é descrita e sustentada por três leis da radiação: Lei de Planck, Lei de Wien e Lei de Stefan-Boltzmann.

1.3.1.1.3.1. Lei de Planck

A lei de Planck, formulada por Max Planck em 1900 e publicada em 1901, observa a intensidade da radiação emitida por um corpo negro. Neste caso, um corpo negro é um objecto teórico que absorve toda a radiação eletromagnética que nele incide, em todos os comprimentos de onda. De modo geral, esta lei descreve a radiação espectral de um corpo negro, I , a uma temperatura T . Através da frequência ν , a radiação espectral é dada por [23]:

$$I(\nu, T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} \quad \text{[equação 2]}$$

- I – Radiação espectral ($\text{J}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\text{Hz}^{-1}$)
- ν – Frequência (Hz)
- T – temperatura absoluta do corpo negro (K)
- h – constante de Planck, equivalente a $6,62606876 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{Hz}$
- c – velocidade da luz, equivalente a $2,99792458 \times 10^8 \text{ m/s}$
- k – constante de Boltzmann, equivalente a $1,3806503 \times 10^{-23} \text{ J/K}$

Contudo, esta lei de Planck pode ser expressa em função do comprimento de onda [24]:

$$I_\lambda(T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1} \quad \text{[equação 3]}$$

Se consideramos $2\pi hc^2 = c_1$ e $hc/k = c_2$, a radiação emitida em função da emitância radiante espectral (energia emitida por unidade de comprimento de onda) é [25]:

$$I_{\lambda}(T) = \varepsilon(\lambda) \frac{c_1}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1} \quad [\text{equação 4}]$$

onde podemos considerar que $c_1 = 3,7415 \times 10^{-16} \text{ W m}^2$ e $c_2 = 1,4388 \times 10^{-2} \text{ m K}$. O comprimento de onda é λ e $\varepsilon(\lambda)$ é a emissividade espectral da superfície. Visto que um corpo negro é um emissor perfeito, a sua emissividade é 1, em todos os comprimentos de onda.

1.3.1.1.3.2. Lei de Wien

A lei de Wien, ou lei de deslocamento de Wien, relaciona o comprimento de onda em que ocorre mais emissão e a respectiva temperatura. Ou seja, relaciona o comprimento de onda onde se encontra o ponto máximo de cada curva e a sua temperatura:

$$\lambda_{max} = \frac{b}{T} \quad [\text{equação 5}]$$

- λ_{max} – Comprimento de onda máximo (μm)
- T – Temperatura (K)
- b – Constante de dispersão de Wien, equivalente a $2898 \mu\text{m}$

Podemos concluir que quanto maior é a temperatura de um corpo negro, menor é o comprimento de onda na qual emite radiação. Na figura 4, é possível observar o espectro da radiação de um corpo negro para diversas temperaturas.

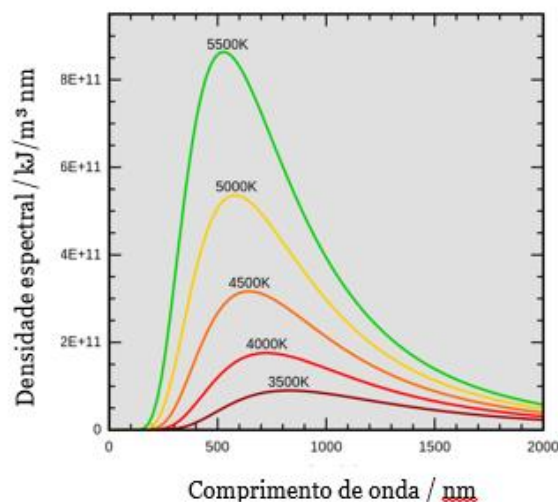


Figura 4 [imagem editada] - Espectro da radiação de corpo negro para diversas temperaturas[26]

No caso de um corpo negro a 310 K (que é aproximadamente a temperatura do corpo humano, 37 °C), através da análise da lei de Wien, o seu pico ocorre aproximadamente 9,3 μm, na faixa do infravermelho. Na figura 5 é possível observar os picos do comprimento de onda para as temperaturas 300 K, 310 K, 320 K.

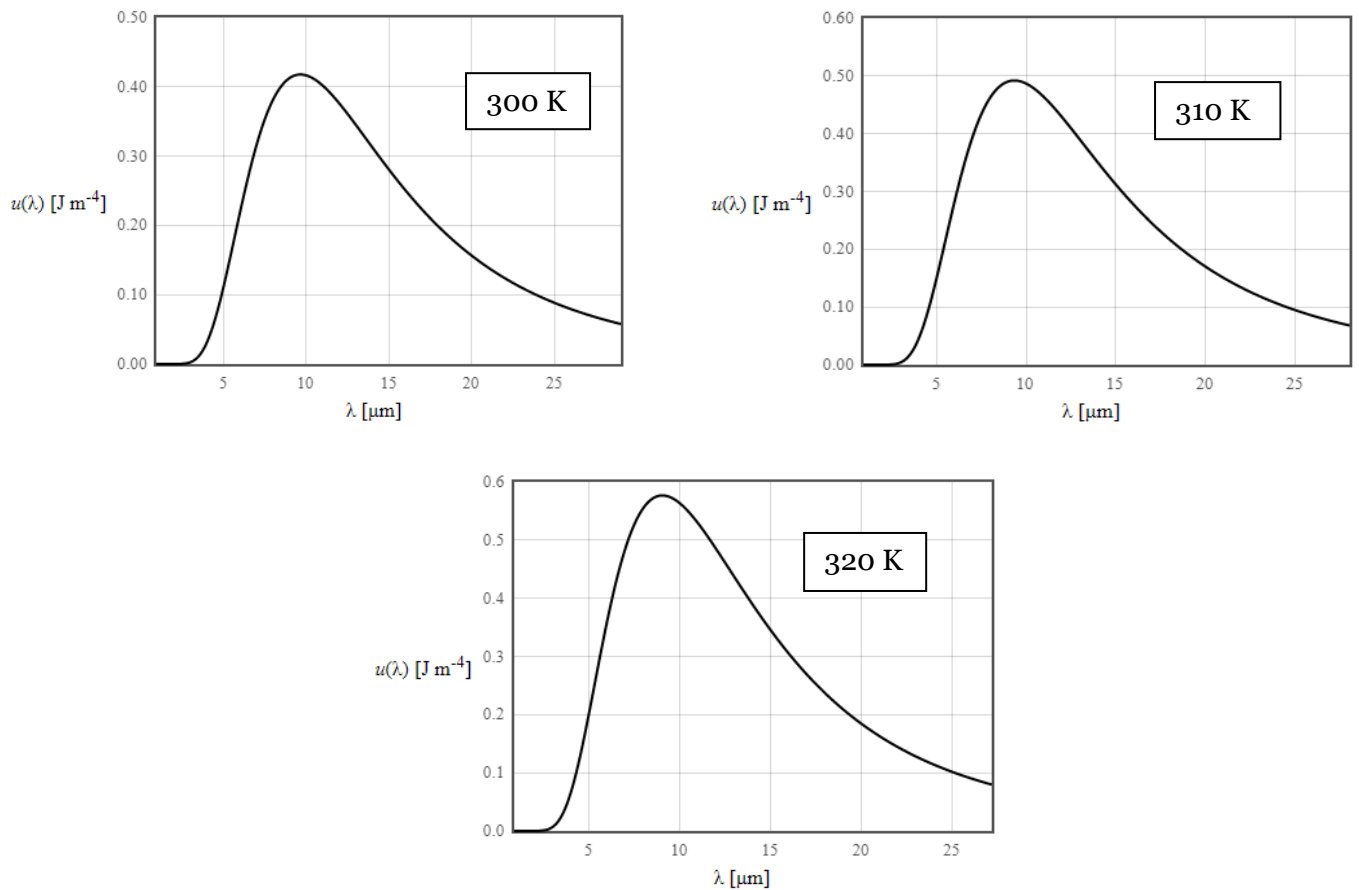


Figura 5 - Picos do comprimento de onda para 300 K, 310 K e 320 K

1.3.1.1.3.3. Lei de Stefan – Boltzmann

Por último, a Lei de Stefan-Boltzmann estabelece a ligação da energia total irradiada pela área superficial de um corpo negro e a quarta potência da sua temperatura absoluta:

$$E_R = \sigma T^4 \quad \text{[equação 6]}$$

- E_R – Energia total irradiada (W/m^2)
- σ – Constante de Stefan-Boltzmann, equivalente a $5,670400 \times 10^{-8} W m^{-2} K^{-4}$
- T – Temperatura absoluta (K)

Contudo, como já foi referido, a emissividade varia de material para material. Sendo assim, é possível reescrever a Lei de Stefan-Boltzmann, sabendo a emissividade do material:

$$E_R = \epsilon \sigma T^4 \quad \text{[equação 7]}$$

Em que a emissividade ϵ varia entre 0 e 1.

1.3.1.1.4. Emissividade

A emissividade é algo que está inerente à superfície dos objectos. De modo geral, é a capacidade de esta emitir energia infravermelha, em que é directamente proporcional à quarta potência temperatura a que esse objecto se encontra. Diferentes objectos apresentam emissividades desiguais influenciando assim a maneira como estes interagem com o ambiente que os rodeia, originando um equilíbrio entre a radiação absorvida e reflectida. Teoricamente, em um corpo negro, a sua emissividade é 1. Ou seja, tem a capacidade de absorver totalmente a radiação eletromagnética que nele incide. Por outro lado, a emissividade de valor 0 significa que é reflectida totalmente a radiação. Contudo, em termos práticos, na natureza, não é possível encontrar nenhum material que seja capaz de absorver ou reflectir completamente a radiação que lhe é emitida.

Uma câmara infravermelha tem a capacidade de capturar e expor, em forma de imagem, essa radiação infravermelha. Emitida pela superfície do objecto, esta radiação é condicionada pela emissividade do próprio, como já foi dado a entender. Esta emissividade pode ser expressa por [27]:

[equação 8]

$$\text{Emissividade} = \frac{\text{Quantidade de energia emitida pelo corpo na temperatura } T}{\text{Quantidade de energia emitida por um corpo negro na temperatura } T}$$

Obviamente que existe factores que influenciam esta variável, tais como a geometria superficial e o tipo de material, o comprimento de onda, a temperatura do objecto e o próprio angulo de visão.

Embora hoje em dia as câmaras termográficas possuem um ajuste automático da emissividade que facilita o utilizador, existe ainda outras variáveis que é necessário ter em conta no processo de medição. Um deles, é o próprio ângulo de medição entre o objecto e a lente.

Para superfícies não planas, a emissividade varia de ponto para ponto em função do ângulo que esteja a ser utilizado aquando da medição da radiação infravermelha. Quando este ângulo de observação aumenta, a sua emissividade diminui em relação à normal. Na figura 6 é possível observar as diferentes alterações da emissividade de alguns materiais dependendo do ângulo de observação. É possível observar que a partir dos 60° a alteração da emissividade é bastante significativa [28] [29].

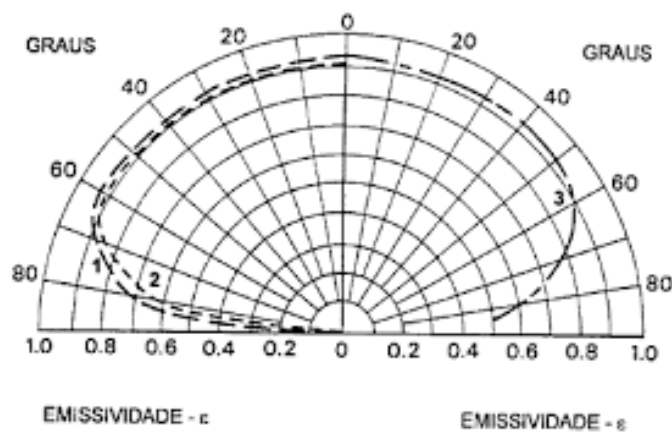


Figura 6 - Variação da emissividade em função do ângulo de observação para alguns não metais: madeira (1); papel (2); vidro (3) [30]

1.3.2. Termografia activa e passiva

Quando falamos da técnica da termografia, esta pode ser abordada de duas formas: através da termografia passiva ou activa

Na primeira abordagem, a característica principal é a não utilização de um estímulo de energia ou fonte artificial externa de aquecimento, ou arrefecimento, à superfície, onde esta possui normalmente uma temperatura superior à temperatura ambiente. Aqui, a possível alteração da temperatura apenas ocorre por meio da carga térmica do meio envolvente, que por sua vez actua sobre o corpo. Ou seja, apenas é aceite e utilizada a influência das condições ambiente no corpo em estudo, sem nenhuma fonte externa de aquecimento/arrefecimento, devendo existir uma diferença natural de temperatura entre o objecto e o meio. Neste caso, a termografia passiva é muitas vezes aplicada ao estudo de grandes estruturas, tais como pontes e edifícios, manutenção de sistemas e componentes e avaliação de diversos processos industriais [31].

Por outro lado, na termografia activa, é necessário um estímulo externo de energia para que este gere diferenças relevantes de temperatura entre o objecto em estudo e o meio ambiente. Após esta “estimulação”, e a criação de um diferencial térmico no corpo, a captação da imagem térmica será feita enquanto o objecto realiza o seu retorno ao estado térmico, fazendo assim um estudo em como ele se comporta enquanto acontece este desequilíbrio e posterior equilíbrio térmico. Este contraste térmico pode ser induzido através de inúmeras fontes de energia. Pode ser através da incidência de energia na superfície, actuando como um propagador de calor ou frio. Neste caso, a fonte de energia pode estar posicionado ao lado da câmara termográfica ou pode ser posicionado no lado oposto à mesma. Por outro lado, também é possível introduzir uma fonte de calor externa no interior do corpo originando assim variações na sua temperatura. [31]

1.3.3. Marcadores bioquímicos como auxílio da técnica da termografia por infravermelhos

Têm sido vários os estudos feitos com a técnica da termografia por infravermelhos onde é usado um marcador bioquímico como uma variável capaz de auxiliar a técnica na leitura dos resultados finais. A utilização da termografia, em conjunto com diversos marcadores bioquímicos, tem sido empregue na determinação da intensidade e da localização de lesões musculares pós-treino. Muitos desses casos têm utilizado a creatinofosfoquinase (CK) como um marcador para, posteriormente, haver uma correlação entre os seus níveis e os resultados obtidos pela termografia por infravermelhos. Para além desta, têm sido avaliadas as proteínas lactato desidrogenase (LDH), o aspartato aminotransferase (AST) e a mioglobina (Mb), que normalmente são incapazes de atravessar a membrana plasmática. Ou seja, a sua libertação muitas vezes está relacionada com o rompimento desta ou uma variação da sua permeabilidade [32].

A enzima CK é a mais específica para diagnóstico de dano muscular e a sua principal actividade está no tecido muscular (esquelético e cardíaco). Geralmente esta enzima citoplasmática está retida no interior da célula e a sua concentração é muito baixa [33]. Porém, o nível de concentração de enzimas como a CK pode aumentar de duas a dez vezes em situações de lesão da célula. Após a lesão celular, ocorre a infiltração de neutrófilos e de seguida a libertação de CK na corrente sanguínea, aumentando assim a sua concentração. Por norma, os níveis de CK encontram o seu maior pico 24 horas após o exercício físico, retomando os seus níveis normais, gradualmente, em aproximadamente 48 horas [34]. Normalmente, segundo Totsuka, *et al* (2002)[35], os valores de CK estão entre 300 e 500 IU/L quando os danos musculares são mais acentuados. Ou seja, os valores de CK podem alcançar valores altos quando ocorrem distrofias musculares, um grupo de desordens caracterizadas por fraqueza e atrofia muscular, traumatismos musculares após o exercício intenso e, em casos mais de risco, após cirurgias ou convulsões. Contudo, mesmo quando há um mínimo de lesão celular, já é possível observar alterações no valor desta enzima, o que só por si já a torna um bom indicativo sobre a habituação ao exercício físico. Sendo assim, uma grande quantidade de concentração de CK pode sugerir a ocorrência de algum tipo de dano tecidual e indiretamente podemos fazer a correlação entre a sua concentração e o grau de agressão gerado pelo exercício físico estudado. Isto porque, sabendo que essas lesões desencadeiam processos inflamatórios, e que estes geram calor por haver um aumento do metabolismo local, então o nível inflamatório pode ser classificado pelo gradiente de temperatura.

LDH é outra enzima que tem sido utilizada como um marcador de dano muscular, como já foi referido, auxiliando assim a termografia por infravermelhos nos casos de estudo onde envolve práticas desportivas. Por outro lado, é uma enzima menos específica mas que contém concentrações altas durante vários dias após a lesão muscular. A concentração de LDH na corrente sanguínea é também um marcador de dano celular, sendo uma ajuda para avaliar a adaptação ao exercício [16]. Por ser uma enzima citoplasmática impermeável na membrana plasmática, alterações na concentração dessa enzima no meio extracelular podem alertar para variações da permeabilidade da membrana, ou até mesmo o rompimento desta [36]

No caso da enzima aspartato aminotransferase (AST), que pode ser encontrada nos hepatócitos, células musculares esqueléticas e cardíacas, quando surge uma lesão muscular o seu aumento ocorre mais lentamente em comparação com a CK. Por estarmos a falar de uma enzima que é essencialmente mitocondrial e citosólica, é necessário que ocorra uma lesão com um grau de gravidade maior para que esta seja libertada na corrente sanguínea. Este é um dos principais motivos que torna esta variável pertinente no que diz respeito à lesão muscular [37][38]. Por vezes, para confirmar se o aumento dos níveis de AST está directamente ligado a uma lesão muscular, ou se apenas ocorreu por um motivo distinto, faz-se a associação dos seus valores com os valores de CK. Fazendo esta correlação, um aumento em conjunto de CK e de AST indicam uma lesão muscular, enquanto que um valor elevado juntamente com valores normais de CK, está muito provavelmente ligado a um distúrbio hepatocelular [39].

Como é óbvio, existe inúmeras variáveis, para além das já referidas, que são um excelente indicativo do aparecimento de lesões musculares, fazendo uma correspondência entre elas, como é o caso do CK e da AST. Analisando os valores da creatinina, piruvato quinase (PK), cálcio, fosfato e magnésio podem também realçar alguma anomalia muscular que possa estar a ocorrer após o exercício físico.

Contudo, é necessário realçar que o intuito do desenvolvimento deste trabalho não é a lesão muscular ou qualquer tipo de lesão em consequência da prática desportiva, mas sim fazer uma análise térmica de zonas específicas do membro inferior e como estas se comportam após a prática desportiva e a sua recuperação após a mesma

1.3.4. Factores que influenciam a termografia por infravermelhos

Quando trabalhamos com qualquer técnica de envolve a termografia, é notório que existem inúmeros factores e parâmetros que podem influenciar os dados obtidos, adulterando os resultados reais. Caso não haja esse estudo e a preparação da técnica com base nessas variáveis, os resultados poderão ter um significativo erro. É necessário critério e organização para seguir todos os parâmetros que envolvem a técnica da termografia por infravermelho.

No trabalho desenvolvido por Barreira (2004) [40], ocorreu um ajuste incorreto da emissividade, pois esta ao variar com o comprimento de onda, com a temperatura superficial do material e com o ângulo de observação, os resultados saíram deturpados. No trabalho efectuado por Avdelidis e Moropoulou (2003) [41], ocorreu uma desfocagem na imagem térmica, distorcendo os resultados obtidos. Uma focagem correcta no início da medição é bastante importante, visto que, esta variável não poderá ser alterada posteriormente. A distância de medição é outro factor fulcral para a obtenção de resultados correctos. Uma distância muito grande ou muito curta pode deturpar a conclusão. Para além disso, a própria resolução do termograma diminui também com o afastamento entre o equipamento e o objecto [42]. Cada ponto da imagem termográfica corresponde a uma área específica da superfície do corpo. Ou seja, com o aumento da distância, cada um desses pontos corresponde a uma área ainda maior e a própria radiação captada pelo equipamento passa a ser uma média da radiação emitida. Sendo este trabalho direccionado para edifícios e construções, também é mencionado o factor vento, que em condições extremas, pode também afectar as imagens termográficas.

Dos inúmeros trabalhos que foram estudados e analisados para o desenvolvimento deste trabalho, muitos seguiram as recomendações feitas pela *International Academy of Clinical Thermology* (IACT). Como por exemplo, para a aquisição das imagens térmicas no trabalho realizado por Sanches, *et al* (2013) [16], manteve-se a sala fechada durante a realização da técnica, evitando assim correntes de ar. A temperatura da sala foi mantida constante, nos 22°C com variação de +/- 1°C e a humidade relativa entre os 50% e 70%. A distancia da câmara e do individuo variou entre 1 a 2 m. A própria preparação dos indivíduos para o exame também seguiu as normas estabelecidas da IACT. Foi pedido aos voluntários que retirassem todos os objectos e a roupa que pudesse cobrir as regiões de interesse e permanecerem em repouso durante 15 minutos antes do início da aquisição das imagens, para que ocorresse um equilíbrio entre a temperatura corporal e a temperatura ambiente. Contudo, no trabalho realizado por Ring e Ammer (2012) [43], a gama ideal da temperatura na captação de imagem foi considerada entre 18°C e os 25°C.

Para melhor entender a organização dos diversos factores que influenciam a termografia, estes foram divididos em 3 grupos principais: factores ambientais, factores individuais e factores técnicos. Contudo, é de realçar que, dependendo das circunstâncias e da especificidade do uso da termografia por infravermelhos e do seu objectivo, existem factores mais relevantes do que outros, factores que têm pesos distintos na influência dos resultados finais.

1.3.4.1. Factores ambientais

Factores ambientais estão directamente relacionados com o local e as condições deste no momento da utilização desta técnica. Ao contrário dos factores individuais, por exemplo, estes são mais fáceis de controlar.

- Tamanho do espaço
- Temperatura ambiente
- Humidade relativa
- Pressão atmosférica
- Fontes de radiação

1.3.4.2. Factores individuais

São todos os factores que estão directamente ligados à pessoa a ser estudada e todas as suas características que possam influenciar a temperatura da pele.

- Sexo
- Idade
- Antropometria
- Ritmo Cardíaco
- Emissividade da pele
- Historial médico
- Metabolismo basal
- Fluxo sanguíneo cutâneo
- Genética

Para além das inumeradas condições, existe ainda factores externos que não estão implícitos nos que já foram referidos. Contudo, são influenciados indirectamente por factores tais como o consumo de tabaco, consumo de medicamentos nas últimas 24 horas, consumo de bebidas alcoólicas nas últimas 24 horas e, mais especificamente no caso da utilização da termografia por infravermelhos no âmbito desta dissertação, a existência de algum tipo de lesão física que o atleta tenha, ou, até mesmo, qual o seu pé dominante, visto que este é mais vezes requisitado pelo atleta nos diferentes movimentos executados durante o treino.

1.3.4.3. Factores técnicos

Neste caso estamos a falar de factores exclusivamente relacionados com o equipamento que utilizamos, isto é, a câmara termográfica.

- Características da câmara – faixa de temperatura, resolução, calibração
- Software utilizado para a posterior análise do termograma
- Análise estatística
- Protocolo – distância focal, posição da câmara e selecção das Regiões de Interesse (ROI)

1.3.5. Principais aplicações da termografia por infravermelhos

Devido ao avanço tecnológico que tem ocorrido nas últimas décadas, a termografia tem ganhado o seu espaço nas mais diferentes áreas. Ela própria tem evoluído e crescido, a nível funcional, melhorando as suas capacidades e o seu funcionamento.

Como já foi referido anteriormente, todos os objectos com a temperatura superior a zero absoluto emitem radiação infravermelhas. Quanto maior for essa temperatura, maior será a radiação emitida pelo mesmo. Essa radiação, invisível aos nossos olhos, pode ser observada através da câmara termográfica, a partir da apresentação de diferentes cores, à escolha do utilizador. Ou seja, algo que é invisível aos olhos humanos acaba por ser visto, incluindo às escuras.

Estas características, entre outras, têm sido utilizados nos mais diferentes ramos. Inicialmente usado apenas na área militar, tem sido alargado, devido ao seu melhoramento, no âmbito da ciência, na segurança e da vigilância, na área da construção civil, sistemas de fluxo de fluido, instalações elétricas, entre outras.

1.3.5.1. Aplicação na ciência

Na área da ciência, é evidente o aumento significativo das aplicações da termografia nas mais diversas áreas. Medicina, medicina veterinária, arqueologia, geologia e meteorologia são algumas das principais áreas onde esta ferramenta tem sido aplicada.

A medicina tem sido das áreas onde esta ferramenta tem sido utilizada e onde são evidentes os resultados positivos que esta apresenta. Como já foi referido, a temperatura corporal tem sido um indicador de doença ou de alguma disfunção fisiológica desde o início da história. A nossa temperatura corporal é o resultado do funcionamento do metabolismo do ser humano. Este segue-se por um equilíbrio térmico, entre o calor produzido no interior do nosso corpo e o calor perdido para o exterior, e essa temperatura pode ser alterada caso haja um aparecimento de alguma doença ou alteração fisiológica. Essas alterações térmicas, em casos específicos, podem ser qualificados em patologias específicas.

Nos últimos 50 anos, tem sido testemunhado um aumento constante da utilização da termografia por infravermelhos, de modo a obter uma correlação entre temperatura/patologia. Para isso, esta técnica tem sido usada em várias situações, nomeadamente na área oncológica, representado na figura 7, mas também na odontologia, na ginecologia, em dores

musculo/esqueléticas, desordens vasculares, doenças reumáticas, doenças dermatológicas, na monitorização de drogas e fármacos, na medicina desportiva, entre outras. Mesmo em procedimentos cirúrgicos, representado na figura 8, esta técnica tem sido utilizada como uma ferramenta de auxílio. Com o avanço tecnológico, nomeadamente o melhoramento das diferentes câmaras termográficas, um dos focos principais tem sido a análise automática da distribuição da temperatura em diferentes regiões de interesse (ROI) e a sua análise estatística em prol da descoberta de uma anormalidade fisiológica [44][45].

Mais do que as suas características específicas e a sua utilidade como ferramenta individual para o tratamento e diagnóstico de doenças, a termografia por infravermelhos tem sido também desdobrada, participando assim nos exames acoplados, como por exemplo, a utilização do raio-X ou da ressonância magnética agrupado à termografia, algo que foi estudado por Sanches, *et al* (2013) [16], tirando partido assim das vantagens das duas técnicas, obtendo um melhor resultado.

Para além das diversas aplicações já citadas, mais recentemente esta técnica tem sido bastante divulgada e reconhecida através da sua utilização em aeroportos para a detecção do contágio do vírus da gripe, onde é possível detetá-lo através da alteração térmica do nosso metabolismo. Devido ao aparecimento das recentes pandemias gripais, nomeadamente a SARS-CoV-2, levou a diversas infraestruturas, onde o ajuntamento populacional é maior, a utilizar a termografia para tal efeito.

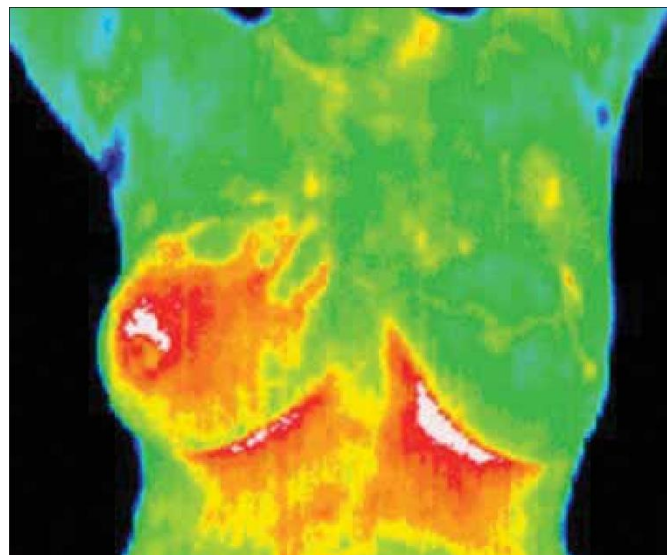


Figura 7 - Uso da Termografia na detecção do cancro da mama [46]

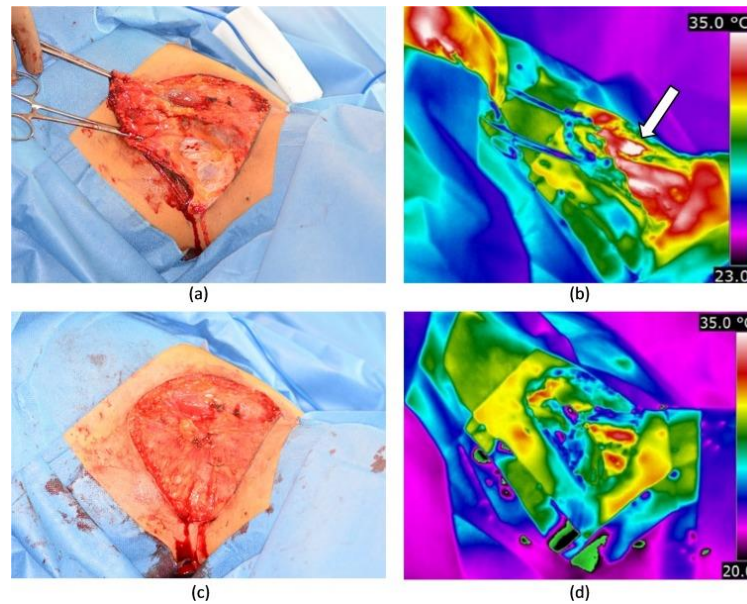


Figura 8 - Uso da Termografia durante um procedimento cirúrgico[47]

Do mesmo modo, na medicina veterinária, o uso da termografia por infravermelho tem sido bastante utilizado como ferramenta de diagnóstico. Da mesma maneira que é possível identificar possíveis patologias através de alteração da temperatura no ser humano, nos animais passa-se a mesma situação. Essas alterações muitas vezes estão relacionadas com uma maior circulação sanguínea, isto porque numa zona onde haja um tecido danificado, o sistema imunitário dos animais liberta uma maior quantidade de glóbulos brancos, aumentando assim o fluxo sanguíneo. Por outro lado, caso essa alteração de temperatura desça para valores anormais, pode haver a indicação de uma possível patologia, tais como uma trombose ou um edema. Muitas vezes, a sua utilização esta directamente relacionada com lesões nervosas, lesões musculares, tendinites, problemas no dorso, entre outras patologias. Por exemplo, alterações da temperatura do úbere permite a detecção de diferentes graus de gravidade de infecção da glândula mamária, representado na figura 9. Por estarmos a falar de uma técnica de diagnóstico sem contacto, é extremamente vantajoso visto que reduz o *stress* do animal no momento da sua utilização. Não sendo exclusivamente utilizada apenas para diagnóstico de doenças, a termografia tem sido usada também para entender melhor o funcionamento do metabolismo animal [48] [49].

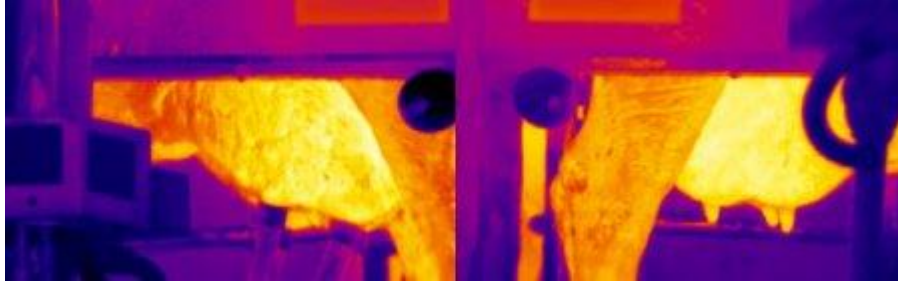


Figura 9 - Uso da Termografia na observação do úbere da vaca[50]

Para além do uso na área da saúde, a termografia tem vindo desde há muitos anos a ser utilizada para a descoberta de novos mundos no espaço sideral. No âmbito da astronomia, a radiação infravermelha tem sido aproveitada para o estudo e o conhecimento de novas regiões do universo, onde diferentes comprimentos de onda infravermelhos podem revelar características diferentes do mesmo. Por ser uma radiação com capacidade de viajar distâncias incrivelmente grandes sem sofrer dissipação, pode assim penetrar em zonas com maiores densidades, como por exemplo nuvens de poeiras, onde a luz visível não passa. A utilização desta tecnologia em telescópios espaciais tem sido crucial para o avanço científico nesta área, tais como por exemplo no Telescópio Espacial Spitzer, no WISE (Wide-field Infrared Survey Explorer), representado na figura 10. Para além de aumentarem abundantemente a sensibilidade deste tipo de equipamentos, muitos deles foram projectados para detectar comprimentos de onda infravermelhos que a própria atmosfera da terra bloqueia, impedindo assim que esta chegue aos observatórios terrestres [51] [52].

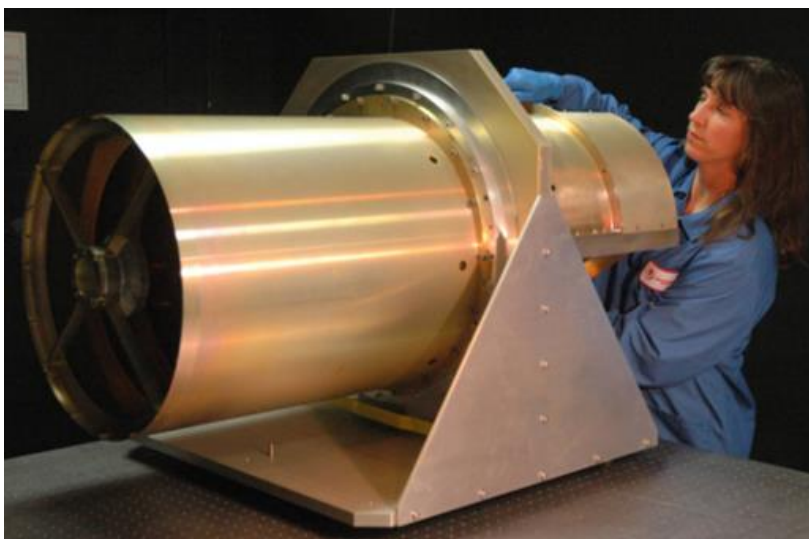


Figura 10 - Telescópio espacial WISE [53]

Na própria arqueologia e geologia, tem havido também um contributo substancial da termografia por infravermelhos. Devido às diferentes temperaturas que cada tipo de rocha contém, estas emitem calor em diferentes taxas. A partir da técnica, é possível identificar diferentes texturas no solo devido a diferentes temperaturas que a área em estudo contém. Isto porque, possíveis terrenos pré-históricos enterrados, têm diferentes temperaturas devido ao facto de que a pedra absorve diferentes quantidades de calor, dependendo do tempo de sedimentação [54].

Também na meteorologia, são utilizados satélites de infravermelhos para o estudo e previsão do tempo, usados na medição da temperatura das nuvens. Estes satélites, para além de também auxiliarem na previsão de tornados e ciclones, ajudam a entender as trocas de energia entre o sol e a terra, onde estas condicionam as mudanças climáticas.

1.3.5.2. Aplicação na Segurança e Vigilância

Foi sobretudo nesta duas áreas onde a termografia por infravermelhos ficou conhecida e a sua utilização iniciou-se há muito tempo. Já no decorrer da 1ª Guerra Mundial, foi possível verificar a potencialidade dos equipamentos detetores de infravermelhos, sobretudo sensores, onde eram desenvolvidos sistemas experimentais de detecção do inimigo.

A sua utilização em conflitos armados passa muito por serem aplicados em armas, tanques, helicópteros e outros tipos de equipamentos militares onde a sua utilização, muitas vezes durante a noite tirando partido dessa vantagem, era com o intuito de localização de alvos, representado na figura 11, mapeamento do campo de batalha, recolha de informação sobre o inimigo e detecção de minas aéreas e terrestres. Em suma, situações onde uma alteração térmica de um objecto ou local forneça conclusões relevantes para permitir ganhar vantagem. Os próprios meios marítimos também têm usufruído desta tecnologia, que permitem que canais marítimos sejam considerados seguros, visto que estes também podem conter minas armadilhadas. Pode, também, ser usada na manutenção de barcos e submarinos [55].



Figura 11 - Termografia por Infravermelhos na detecção de alvos [56]

Nomeadamente, na vigilância, já é um uso recorrente a sua utilização. Para além de oferecer uma vigilância mais eficaz, a sua actividade é completamente sigilosa. Várias instalações têm vindo a usar câmaras termográficas para detectar qualquer ameaça e aumentar os níveis de segurança dos seus utilizadores, como é o caso de aeroportos onde é possível procurar armas e materiais explosivos. Até mesmo em situações noturnas é possível determinar com facilidade alguma perturbação, particularmente em fronteiras, de elementos como, por exemplo, emigrantes ilegais escondidos.

Forças especiais em busca de salvamento e brigadas de incêndio têm também tirado vantagem da termografia. Seja para a detecção de pessoas soterradas devido a terremotos, avalanches, *tsunamis* ou qualquer outro tipo de causa natural, ou na localização de vítimas de um naufrágio. Também na localização de vítimas de incêndio em locais escuros, onde a visibilidade por outro meio é impossível. Esta detecção de pontos quentes pode ser usada em prédios, florestas, alto mar, entre outros [57].

1.3.5.3. Aplicações na construção Civil

A termografia tem vindo a ser utilizada, também, como instrumento de diagnóstico, em infraestruturas como por exemplo edifícios, pontes, viadutos ou túneis, como é demonstrado na figura 12. Fazendo a análise termográfica, é detectada a existência de incoerências nos padrões de temperatura dos elementos de construção. Assim, permite ao dono da obra e à fiscalização verificar se o trabalho foi bem edificado e delimitar e localizar as áreas com problemas, auxiliando assim na manutenção de infraestruturas, evitando a danificação de componentes.

Contudo, é de realçar que muitas vezes esta técnica é complementar com outras técnicas de diagnóstico de modo a revelar irregularidades [58].

Essa diferença de temperatura pode indicar problemas estruturais. Utilizando esta ferramenta, é possível [59]:

- Detectar e localizar infiltrações em paredes e coberturas
- Detectar a falta de isolamento térmico em fachadas
- Inspeccionar tubagens, sistemas de aquecimento e ar condicionado
- Detectar possíveis colónias de insectos no interior de infraestruturas que possuem elementos de madeira na sua construção
- Detectar pontos de menor resistência
- Detectar de zonas com humidade

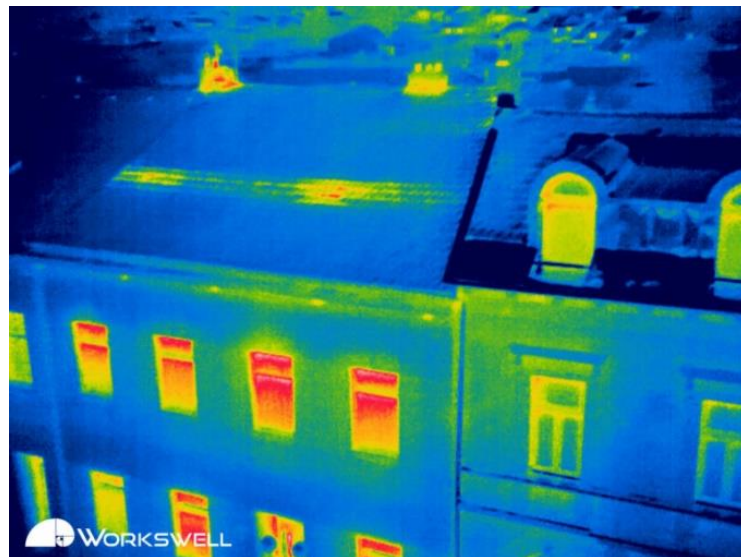


Figura 12: Aplicação da Termografia por Infravermelhos na análise de telhados [60]

1.3.5.4. Aplicações em sistemas de distribuição de fluidos

Também nos sistemas onde há o funcionamento de componentes integrados de sistemas de fluidos e vapor ocorrem mudanças térmicas. Estas, quando são localizadas, podem demonstrar problemas de funcionamento. Através de uma análise termográfica, é possível detectar problemas relacionados com o caudal de fluidos, fugas e bloqueios em sistemas de distribuição de fluidos quentes/frios e vapor.

Em sistemas de vapor há a utilização de válvulas, como por exemplo os purgadores, que permitem a passagem do condensado, mantendo vedada a saída do vapor. Este vapor possui uma temperatura mais alta do que o condensado, logo admite-se um gradiente de temperatura para que esta válvula funcione correctamente. A não ocorrência deste gradiente, observável na análise termográfica, pode fornecer informações do desempenho do sistema. Em válvulas fechadas e sistemas subterrâneos, pode ser útil para detectar fugas de vapor. Em sistemas de permuta de calor, uma anomalia pode também estar associada a uma troca anormal de calor devido a uma irregularidade no revestimento isolante ou refractário. Com isto, em sistemas de fluidos, uma inspecção em fornos e caldeiras é fundamental para eliminar locais de perdas de energia. A utilização da técnica neste tipo de aplicações pode ser observável na figura 13 [61] [62]

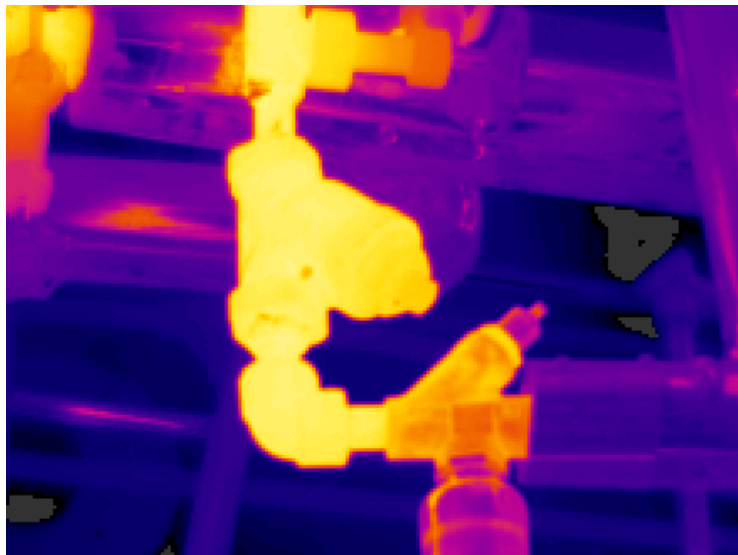


Figura 13: Aplicação da termografia em válvulas [63]

1.3.5.5. Aplicações em instalações eléctricas

Grandes empresas e edifícios consomem altos níveis de energia, e por isso, é importante adoptar uma análise termográfica em sistemas eléctricos. Sendo a temperatura a variável mais importante na detecção de uma falha eléctrica, o seu aumento pode originar riscos, como por exemplo incêndios, avarias irremediáveis ou provocar danos a pessoas ou lugares. Além disso, é uma técnica completamente segura, não oferecendo risco à equipa que utiliza, devido à distância necessária para se realizar a análise termográfica.

Quando a corrente eléctrica passa em algum componente, dá-se um aumento de temperatura. E com o tempo vai-se originando uma deterioração no material devido ao

envelhecimento, corrosão e carga eléctrica do mesmo. Os cabos envelhecem e podem tornar-se porosos por incidência de luz, por calor ou por processos químicos. Quando o isolamento do plástico de cabos seca e se torna poroso, torna-se um processo perigoso, originando ligações soltas e deterioradas. Para além disso, pode vir ocorrer uma oxidação nos contactos e nos fusíveis, circuitos em sobrecarga, circuitos com desequilíbrio de cargas e equipamentos defeituosos, como por exemplo transformadores, contadores, disjuntores e linhas de transmissão. Na figura 14 e na figura 15 observa-se a utilização desta técnica para dois casos com componentes eléctricos, Também é possível utilizar a câmara termográfica em fachadas e visualizar, no seu sistema eléctrico, estes mesmos problemas. Detectando diferenças de temperatura relevantes e incomuns, estes pontos são detectáveis e documentados detalhadamente[64].



Figura 14 – Análise termográfica em componentes eléctricos [64]

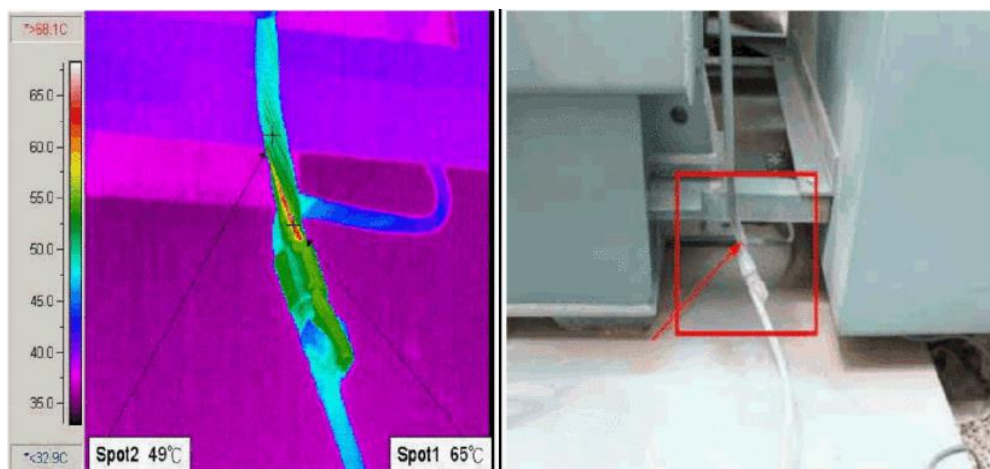


Figura 15 – Imagem termográfica de um cabo eléctrico [64]

Para além das inúmeras aplicações já referidas, existem inúmeras mais onde uma análise termográfica possibilita otimizar processos e obter uma máxima eficiência, ou localizar problemas antecipadamente e encontrar soluções. A termografia pode ser mais uma vez usada em aplicações, tais como:

- Energias renováveis
- Automação
- Controlo do processo de fabrico
- Electrónica
- Oceanografia
- Navegação
- Vulcanologia
- Industria alimentar

1.3.6. Fisiologia Humana

1.3.6.1. Músculos predominantemente utilizados no futsal

Na prática desportiva abordada nesta dissertação, o Futsal, existe uma mobilidade permanente dos atletas dentro da quadra. É uma modalidade que requer súbitas acelerações e desacelerações com repentinas mudanças de direcção, deslocamentos de ritmo intermitente, transições rápidas entre a defesa e o ataque, diversos contactos com o adversário e com a própria bola e um ritmo competitivo bastante elevado. Estes factores, conjugados com a ocorrência de treinos diários e jogos semanais, provocando grande desgaste físico e pouco tempo de recuperação, demonstram o nível físico e mental a que um jogador de futsal se sujeita. Concluindo assim que, devido às características biomecânicas e por ser um desporto sem limite de substituições, tem mais fases de elevada intensidade que, por exemplo, o futebol [65] [66].

Como é óbvio, devido às suas particularidades, os membros mais utilizados no futsal são os membros inferiores. Para além de fornecerem constantemente o equilíbrio ao jogador, são estes que são utilizados para grande parte dos principais movimentos da modalidade, como por exemplo o passe, a movimentação, o desarme e o remate. Por isso, é lógico que sejam os músculos dos membros inferiores a sofrerem maior desgaste físico devido à suas constantes utilizações [67].

Por exemplo, no caso do remate, praticamente todos os músculos do membro inferior são utilizados, devido ao movimento biomecânico que este sofre. Não só a perna utilizada para o

remate em si mas também os músculos da perna oposta, a perna usada para o equilíbrio, são utilizados para oferecer potência e força ao remate.

Sendo assim, de forma sucinta, os grupos musculares mais afectados no momento do remate são aqueles localizados na parte superior da perna, acima do joelho. São eles os quadríceps, os isquiotibiais e os glúteos, sendo também utilizados os músculos do pé, o quadril e ainda o tronco e os ombros para fornecerem um maior equilíbrio [68].

No caso dos grupos musculares anterior e posterior da coxa, os quadríceps e os isquiotibiais, respectivamente, são responsáveis por flexionar e estender o joelho da perna usada para o remate. Para além disso, estes dois momentos têm, também, um efeito sobre os músculos flexores do quadril, visto que estão ligados a ele através do fémur. O quadril também desempenha o seu papel fornecendo uma articulação das acções de cada perna. Com o auxílio dos músculos dos glúteos, este é utilizado para a extensão da perna e para o movimento que ela exerce para trás ao realizar o remate. Na perna de apoio, os quadríceps e os isquiotibiais fornecem também a estabilidade e o equilíbrio necessário, para que desta forma o remate seja efectuado com a potência e a direcção desejada [68].

Como é possível visualizar através da figura 16, os músculos isquiotibiais dividem-se em: semitendíneo, semimembranoso e bíceps femoral.

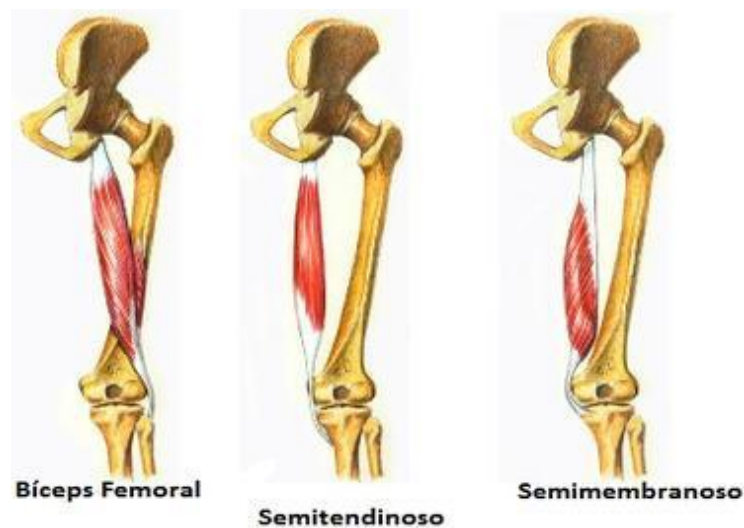


Figura 16 – Músculos isquiotibiais [69]

Estes músculos começam na parte inferior da pélvis e atravessam a articulação do joelho, terminando na parte inferior da perna [70].

No caso dos músculos anteriores da coxa, os quadríceps, representados na figura 17, como o próprio nome indica, são constituídos por 4 músculos: vasto lateral, vasto medial, vasto intermédio e reto femoral. Estes possuem pontos de origem distintos, mas que se estabelecem em um único tendão que se insere na base da rótula [71].

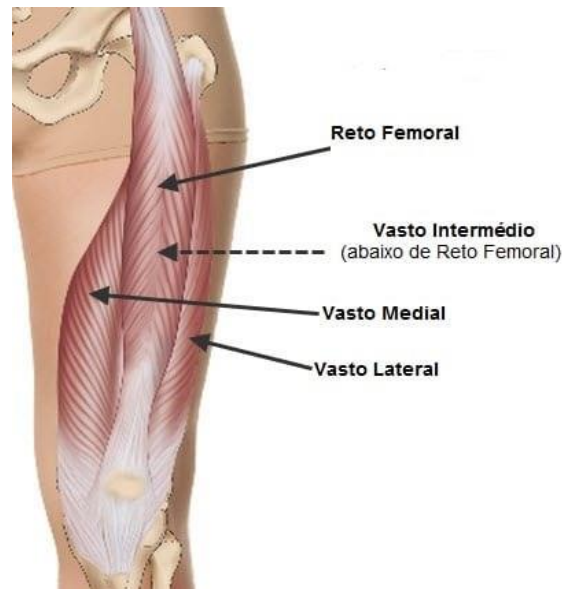


Figura 17 - Musculo dos quadríceps [72]

No momento do remate, os músculos abaixo do joelho, nomeadamente o músculo tibial anterior e o gastrocnémio, exercem também a sua função neste movimento. No caso do tibial anterior, está localizado na parte lateral da tibia. Este, no momento do remate, ajuda a flexionar as articulações do tornozelo. Ou seja, quando o atleta remata, o tornozelo dobra e ao apontar os dedos do pé para baixo é exercida uma flexão plantar. O movimento contrário designa-se por flexão dorsal. É neste momento que entra em acção o tibial anterior. Para a flexão dorsal, o trabalho dos gastrocnémios é necessário. Para além disso, estes 4 grupos musculares referidos têm um papel fundamental no salto vertical, que será um indicador dos níveis de potência muscular produzidos pelos músculos dos membros inferiores [73] [74] [75].

Em suma, apesar de apenas se terem referenciado 4 grupos musculares ao longo da perna, tanto a dominante como a de apoio, no momento do remate ocorre uma soma de forças que requerem o uso de diversos músculos do membro inferior.

1.3.6.2. Prevalência de lesões

Devidos às características já mencionadas anteriormente no futsal, muitas vezes os atletas estão sujeitos a lesões físicas que o incapacitam e determinam o seu afastamento dos treinos e

das competições, nomeadamente ao nível dos membros inferiores, que é a zona com maior incidência de lesões em atletas de futsal, de cerca de 88,1% [76] .

Estas lesões estão muitas vezes associadas a factores que, segundo COHEN *et al*, 1997 [76], podem ser classificados como intrínsecos e extrínsecos. No primeiro caso, estão incluídos os factores e características inerentes à modalidade em si, tais como as corridas de elevado desgaste físico, saltos, mudanças repentinas de direcção, remates, passes, etc. Já os factores extrínsecos, são aqueles relacionados com as condições da quadra, o tipo e a qualidade do calçado, condição física individual, sexo, quantidade de jogos, treinos e a própria motivação do jogador.

As lesões localizadas nos membros inferiores podem ser bastante variáveis. Num estudo feito por Carazzato, *et al* (1992) [77], foram estudados no total 1625 atletas, onde se observou que a região do joelho (359 atletas) representou a zona de maior incidência de lesão, seguida da zona da coxa (347 atletas), tornozelo (280 atletas) e a zona do pé (187 atletas). Por outro lado, quanto ao tipo de lesões físicas relatadas, são predominantes as entorses (380), lesões musculares (325), contusões (246), lesões nos meniscos e ligamentos nos joelhos (194), fracturas (90) e, por último, na zona da coluna (90). Por outro lado, no trabalho desenvolvido por Leite (2009) [78], verificou-se que os estiramentos musculares são os mais incidentes (27,2%), seguindo-se as entorses (25,8%) e as contusões (14%). Entende-se assim que as lesões mais recorrentes nesta modalidade estão directamente ligadas a entorses e lesões musculares, muitas vezes uma sendo consequência da outra, sendo estas fundamentais para o acréscimo e decréscimo do rendimento desportivo do atleta. No caso da entorse, por exemplo, muitas vezes está directamente ligada a um movimento forte seguido de uma rápida contracção, ou um movimento exagerado contra uma grande resistência, originando uma ruptura de fibras musculares nomeadamente na ligação musculo-tendão, apenas no tendão, ou até mesmo na inserção óssea da ligação entre estes dois [79].

Este crescente índice de atletas lesionados no futsal está muitas vezes também relacionado com uma ausência de procedimento que sejam capazes de prevenir e diagnosticar antecipadamente este tipo de lesões e identificar especificamente os factores, tanto a nível físico como a nível pratico, que motivam uma diminuição do rendimento desportivo do atleta. Estas práticas a nível preventivo, para além do crescimento do atleta, dignificam também a própria modalidade.

1.3.6.3. Termorregulação

No caso do ser humano, é necessário que a temperatura interna seja constante e o seu sistema termorregulador mantenha a temperatura central próxima de 37°C, com o objectivo de

conservar as funções metabólicas do mesmo. Termorregulação é um conjunto de procedimentos que regulam a temperatura corporal do ser humano. Através destes mecanismos, é possível manter essa temperatura dentro de valores compatíveis com a vida, quando a temperatura do meio exterior varia. Ou seja, o ser humano é um animal homeotermo que precisa de manter a temperatura do corpo constante para que o nosso organismo funcione correctamente. Durante o exercício físico, os músculos produzem energia através da contração muscular aumentando ainda mais a temperatura interna do corpo. Nestes momentos, a transpiração é um dos mecanismos de termorregulação mais comuns durante a prática desportiva. Ainda antes de este ser activado, ocorre a vasodilatação na periferia do corpo. Deste modo, aumenta o fluxo sanguíneo e, conseqüentemente, aumenta a temperatura, o que conduz a uma maior transferência de calor para o meio envolvente, libertando assim o suor através das glândulas sudoríparas, arrefecendo o corpo por evaporação [80].

O mecanismo de regulação térmica possui diversas estruturas específicas que influenciam o ganho e a perda de calor. Para o nosso organismo manter a temperatura constante, este tem mecanismos neurológicos e hormonais que regulam as taxas metabólicas como também a perda de calor em resposta a alterações da temperatura corporal interna. Essa termorregulação é realizada por um sistema de controlo, que consiste em termorreguladores centrais e periféricos, um sistema de condução aferente e um controlo central situado no hipotálamo que é capaz de regular a temperatura do corpo ao integrar os impulsos térmicos procedentes de quase todos os tecidos do organismo. Os receptores sensoriais têm o papel de detectar mudanças na temperatura e, por sua vez desencadeiam uma serie de reacções fisiológicas em resposta a tais alterações de temperatura. Contudo, existe uma faixa de temperatura, situada entre os 36,7°C e 37,1°C, onde não há qualquer resposta a essas alterações. Quando esse impulso térmico, mencionado anteriormente, excede ou fica aquém da faixa limiar da temperatura, ocorrem essas mesmas reacções termorreguladoras, mantendo assim a temperatura corporal em valores adequados. [81] [82]. Neste caso, os receptores sensoriais periféricos são mais sensíveis ao frio e os receptores sensoriais centrais mais sensíveis ao calor. Ou seja, a temperatura periférica é mais variável e sujeita a alterações. Também existem receptores termo-sensíveis localizados na pele e nas membranas mucosas, que medem a sensação térmica e contribuem para que ocorram os reflexos termorregulatórios. Normalmente, pode haver uma diferença de até 4°C entre a temperatura central e a temperatura da pele, o que permite haver trocas de calor entre o organismo e o meio ambiente [83].

Exteriormente, umas das reacções fisiológicas visíveis que o nosso corpo pode ter quando ocorre uma alteração térmica que exija arrefecimento é a libertação de suor. As glândulas sudoríparas são pequenas estruturas tubulares que se estendem através da derme e da epiderme, cuja função é a libertação de suor com o objectivo de arrefecer o próprio corpo. Dependendo da intensidade da prática desportiva, das condições ambientais, do nível de hidratação e do estado de aclimatização, a libertação pode exceder 2 litros/hora. Contudo, é

importante referir que a troca de calor não depende exclusivamente do nosso corpo, mas também de factores ambientais e trocas de energia que influenciam a regulação térmica [81].

Ou seja, em suma, a compreensão dos processos de regulação térmica do organismo e as suas implicações são importantes para uma melhor percepção de como estes conseguem influenciar o desempenho físico de um atleta, tanto na sua performance desportiva como na sua condição física. Neste caso específico, através da técnica da termografia por infravermelhos, que trabalha intrinsecamente com as alterações de temperatura e a sua relação causa-efeito, somos capazes de identificar localmente essas variações e, a partir das mesmas, ajudar a maximizar o rendimento desportivo do atleta, sabendo o comportamento de determinadas regiões a diferentes esforços físicos e o seu tempo de recuperação.

1.4. Revisão Bibliográfica

Neste subcapítulo, é apresentada uma revisão bibliográfica onde são abordados diversos estudos relevantes sobre este tema, que foram tidos em conta para a realização deste trabalho. Nesse âmbito, foi realizada uma abordagem à aplicação da termografia à área desportiva. Neste ultimo caso, para além da abordagem geral, foi abordado o Futsal em particular. Assim, fica demonstrado que, de facto, há uma relação significativa entre a técnica da termografia, mais propriamente a termografia por infravermelhos, e o prognóstico de lesões físicas nos atletas e o seu rendimento desportivo.

Para ter sido possível obter um número substancial de artigos, com o maior rigor possível de informação e matéria, com o intuito de construir um trabalho coerente e preciso, foram utilizadas diferentes bases de dados para a recolha destes mesmos artigos, tais como o IEEE, NCBI e ScienceDirect.

Portanto, é importante realçar que a técnica da termografia por infravermelhos, apesar de fornecer informações significativas para ajudar no diagnóstico médico, não permite avaliar detalhes anatómicos da região analisada. No trabalho de Sanches, *et al* (2013) [16] é desenvolvida uma técnica que permite realizar a fusão entre diferentes modalidades de imagens, tais como a ressonância magnética (MRI) ou uma tomografia computadorizada por raio X (TC), juntamente com imagens da termografia por infravermelhos. Para tal, foi necessário primeiro construir uma projecção 2D dos planos tomográficos de MRI ou TC em quatro ângulos (frontal, ou 0°, lateral esquerdo, ou 90°, posterior, ou 180° e lateral direito, ou 270°). De seguida ocorre o registo e fusão das imagens resultantes da projecção 2D com as imagens termográficas obtidas para os mesmos ângulos. Após isso, há a sobreposição das linhas das imagens termográficas nas bordas de cada “fatia” da MRI ou CT. E, por fim, há a visualização tridimensional da região de

interesse utilizando as informações das estruturas internas e da temperatura cutânea do paciente. Este método aqui proposto permite a visualização 3D das estruturas anatómicas, com as informações da temperatura sobrepostas, ou seja, correlacionadas com a anatomia interna da região de interesse. A imagem térmica fornece a temperatura da superfície cutânea e as imagens da ressonância magnética apresentam informações da estrutura anatómica. Tais informações melhoram assim a sensibilidade do diagnóstico, pois proporcionam uma melhor identificação da localização das lesões ou estruturas de interesse.

No artigo de revisão elaborado por Ring, *et al* (2011) [43], são mencionadas diversas aplicações médicas onde é possível observar a utilização da termografia por infravermelhos, tirando partido das suas características específicas. Por exemplo, é referida a sua utilização em atries inflamatórias, através de inúmeros estudos presentes na literatura, em reumatismos que estejam nomeadamente relacionados com espasmos e lesões musculares, entesopatias e fibromialgias. Para além destas doenças, são mencionadas outras patologias, tais como o síndrome da dor regional complexa (SDRC), doença arterial periférica ou, até mesmo, doenças malignas, como por exemplo o cancro ou tumores.

Khorobchuk (2016) [84] verificou no seu trabalho a aplicação da termografia para a detecção e caracterização da severidade das espondiloartrites. Neste trabalho explora-se em detalhe a própria doença em estudo, os seus sintomas e as regiões afectadas. São referidos também os princípios físicos da termografia e a sua correlação com a pele humana. Com esta experiência, pretendeu-se o domínio do procedimento da técnica de termografia, entender melhor o procedimento aplicado ao corpo humano, verificar a assimetria da zona dorsal, mais especificamente a zona lombal e o tratamento digital dos termogramas através de um algoritmo inovador. Foi construído um algoritmo, através do auxílio da ferramenta MatLab, que conseguisse discriminar casos de potenciais patologias e efetuar uma comparação bilateral das imagens termográficas. Na discussão de resultados, foi construído um grupo de 20 pessoas, sem a patologia em estudo. Também foram utilizados 5 voluntários com espondiloartrite diagnosticada. Nos casos sem a patologia, através das imagens termográficas, observou-se evidentemente que não possuem a doença em estudo. Porém, verificou-se um ligeiro aumento de temperatura na zona cervical. Isto pode ser devido ao estilo de vida que se leva, nomeadamente, a posição incorreta durante o trabalho junto ao computador. Contudo, verificou-se uma simetria na distribuição das temperaturas dorsais em relação à coluna vertebral. No grupo com a patologia diagnosticada, não se verificou uma simetria na distribuição da temperatura. Verificou-se também que a temperatura central dos indivíduos com a doença em estudo é ligeiramente inferior ao grupo de pessoas saudáveis. Na zona periférica, acontece exatamente o contrário, uma vez que os indivíduos saudáveis possuem uma temperatura periférica superior do que os pacientes com a patologia. Ou seja, existe uma diferença significativa na distribuição das temperaturas na zona lombar. Tendo em conta os desvios padrão estudados em 5 vertebrae (L1, L2, L3, L4 e L5), os resultados não foram expressivos, possivelmente pelo facto de a amostra ser muito reduzida para o caso de estudo. Na

conclusão deste trabalho, salientou-se a eficácia na recolha de dados e os resultados da captação de imagem e diagnóstico através da técnica da termografia mostraram-se satisfatórios. Também foi possível detetar a patologia num período de tempo comparativamente mais curto com outras técnicas, como por exemplo o raio-X e a eletroscopia por RMN. No final evidencia-se a aplicação do mesmo estudo com uma amostra maior, no caso da amostra com a patologia, esperando haver resultados ainda mais satisfatórios.

O uso da termografia para diagnóstico e tratamento da tendinite patelar foi estudado no trabalho de Mangine, *et al* (1987) [85]. Foram utilizados 17 pacientes, 9 mulheres e 8 homens, todos com um histórico de tendinites. O objectivo deste estudo foi determinar uma tendinite específica e distinguir das demais através da termografia por infravermelhos, havendo resultados satisfatórios. Ao observarmos que não é um trabalho recente, é possível concluir que esta técnica tem sido observada e cuidadosamente investigada por diversos autores demonstrando o seu potencial.

No estudo de Ludwig, *et al* (2012) [86] foi demonstrado também que é possível usar a termografia por infravermelhos para avaliar 2 tipos de respiração: torácica e diafragmática. Usando apenas 1 indivíduo, foram analisadas 10 áreas em estudo na parte do peito, durante 2 dias onde foram recolhidas 1200 imagens (600 imagens no 1.º dia e 600 imagens no 2.º dia). Após isto, fez-se uma correlação entre o 1.º dia e o 2.º dia, tendo em conta diversas variáveis, como por exemplo o número de músculos usados nos dois diferentes tipos de respiração, causando assim diferentes alterações de temperatura.

No caso específico da utilização desta técnica em diferentes modalidades, cujo objectivo seja a prevenção e diagnóstico de lesões físicas ou até um melhoramento da performance desportiva dos atletas, foram estudados diferentes trabalhos apoiados por diversos desportos.

No trabalho desenvolvido por Bandeira, *et al* (2012) [87] é desenvolvido um estudo onde o objectivo é verificar a viabilidade da aplicação da termografia no diagnóstico de lesões causadas pelo exercício físico. Para isso, este estudo foi realizado com atletas, que foram divididos em 2 grupos, um grupo controlo e um grupo experimental. O grupo de controlo participou em baixa intensidade e o grupo experimental em alta intensidade. Inicialmente foi capturada uma imagem termográfica do quadríceps femoral de cada atleta antes do início da sessão de treino. Após a sessão, tirou-se uma amostra de sangue para verificar o nível sérico de lactato de cada atleta. Após 24 horas de treino, efetuou-se outra recolha de amostra de sangue para verificar o nível sérico de CK de cada atleta. Nos resultados obtidos a correlação entre os índices de lactato e CK foi positiva e estatisticamente significativa. Não houve correlação estatisticamente significativa entre os valores de CK 24 horas após o treino e na variação de temperatura nos músculos avaliados para o grupo de controlo. Houve diferença de temperatura (24h após treino – pré treino) estatisticamente significativa para os 3 músculos estudados apenas no grupo experimental. Neste trabalho também é salientada a importância de controlar a camada de gordura da área avaliada, pois a mesma interfere nos valores absolutos da temperatura,

influenciando os resultados do estudo. Por fim, sugere-se a realização de novos estudos, com atletas de futebol ou de outras modalidades, utilizando, além da CK como marcador bioquímico, métodos de diagnóstico por imagem.

No trabalho de Côrte, *et al* (2018) [88] o principal objetivo foi avaliar a aplicação da termografia como um método complementar na prevenção de lesões em jogadores de futebol profissional. Foram utilizados no total 28 jogadores, observados durante 2 anos seguidos, 2015 e 2016. Na primeira época de investigação, todas as lesões sofridas pelos jogadores foram documentadas em 4 categorias, de acordo com o seu nível de gravidade. Na segunda época, é aplicado 2 vezes por semana uma termografia por infravermelho (48 horas depois do jogo) a cada jogador. Caso a diferença de temperatura das ROI analisadas fosse maior que $0,4^{\circ}\text{C}$, comparando a perna direita com a perna esquerda, eram iniciados diversos protocolos de prevenção, de acordo com a diferença de temperatura obtida. No fim da investigação foi possível verificar uma diferença substancial no número de lesões do primeiro ano para o segundo ano (11 lesões em 2015 e 4 em 2016). É importante realçar que em 2015 houve mais jogos (71 no primeiro ano e 66 no segundo), contudo estatisticamente isso não é relevante. Sendo assim, é possível concluir os resultados positivos que esta técnica demonstrou ter na prevenção de lesões musculares.

Fernandes, *et al* (2016) [89] demonstraram no seu trabalho que é possível monitorizar as variações de 28 regiões de interesse durante o exercício físico, através da termografia por infravermelho. Doze pessoas foram monitorizadas durante três fases: trinta minutos antes do exercício, durante o exercício físico em si (duração de uma hora) e uma hora após o mesmo exercício. Foi evidente que, em determinadas regiões analisadas, a variação de temperatura é estatisticamente irrelevante, enquanto noutras foi demonstrado haver uma correlação entre a prática do exercício físico e a alteração da temperatura, tendo em conta certos parâmetros.

Em Lira, *et al* (2019) [90] foram utilizados 15 atletas de futsal cujo objectivo do trabalho foi analisar a simetria térmica dos membros inferiores dos atletas. Isto porque a termografia tem sido utilizada como uma técnica que pode auxiliar na compreensão de ajustes termorregulatórios na prática desportiva. Os resultados obtidos foram bastante evidentes. De acordo com estes, quando se analisa a temperatura dos quadríceps pode-se visualizar valores bastante idênticos, com média de $34,2^{\circ}\text{C}$ para os dois lados. No que diz respeito à musculatura posterior da coxa (isquiotibial), os valores são parecidos, com $34,0^{\circ}\text{C}$ para o lado direito e $34,1^{\circ}\text{C}$ para o lado esquerdo. Conclui-se assim não existir diferenças na temperatura da musculatura dos membros inferiores dos atletas após a avaliação termográfica, demonstrando alto índice de simetria nas regiões de interesse.

No trabalho desenvolvido por Cruz (2017) [91] o objectivo do estudo foi analisar as respostas termográficas dos esforços produzidos num jogo de futsal. Ao todo, foram utilizados 12 atletas. Foram recolhidas imagens termográficas das zonas anterior e posterior da coxa (quadríceps e isquiotibiais, respectivamente), antes e depois de um jogo de futsal. Nos primeiros

resultados obtidos foi possível observar que ocorreram variações estatisticamente significativas nos músculos quadríceps com um aumento de 2,7°C após o jogo. Estes números demonstram que os esforços produzidos no jogo foram capazes de produzir micro-lesões e, conseqüentemente, desencadear um processo inflamatório, elevando assim a temperatura na região dos músculos. No entanto, não foram observadas diferenças significativas antes e após o jogo nos músculos isquiotibiais. Talvez fosse expectável uma maior elevação de temperatura nestes mesmos músculos, devido à natureza do desporto estudado. Num jogo de futsal são realizadas constantes acelerações e desacelerações num curto espaço da quadra, corridas com alta intensidade, mudanças de direcção inesperadas e diversos remates, fazendo com que os músculos isquiotibiais executem esforços momentâneos. Através destes resultados, demonstrou-se que são os quadríceps que sofrem maior desgaste quando comparados aos músculos isquiotibiais. Ainda nas regiões de interesse, foi possível também verificar uma maior concentração de pontos de calor, com o intuito de verificar possíveis assimetrias térmicas, no membro dominante, 51,2%, quando comparado com o membro não-dominante, 23,8%.

1.5. Objectivos do presente trabalho

No presente trabalho, o principal objectivo, foi avaliar a utilidade da termografia por infravermelho como ferramenta de análise aplicada a uma prática desportiva específica, neste caso o futsal. Mais especificamente, pretendeu-se, através do registo e análise das imagens termográficas obtidas em momentos distintos do processo de treino, verificar a existência de alterações térmicas nos membros inferiores devido ao desgaste físico produzido pela prática desta modalidade.

Definiram-se como objetivos complementares contactar uma equipa sénior de futsal a competir nos principais escalões nacionais, cujos atletas pudessem participar no estudo, elaborar um protocolo para o registo termográfico e definir uma metodologia de processamento e análise dos termogramas recolhidos. Com a ferramenta Matlab, pretendeu-se construir um algoritmo que permitisse auxiliar o tratamento das imagens recolhidas.

1.6. Organização do documento

A organização do presente documento é composta por 4 capítulos na sua estrutura. O capítulo inicial é composto por uma perspectiva geral do trabalho e o seu enquadramento, seguido de uma fundamentação teórica com os princípios básicos da termografia por

infravermelhos. São abordados os marcadores bioquímicos que podem auxiliar esta técnica, os diferentes factores que a podem influenciar e as suas diversas aplicações. Posteriormente, são referidos os músculos que são predominantemente utilizados na prática do futsal, a prevalência de lesões dos atletas e o funcionamento da termorregulação inerente à condição humana. Após isso, é efectuada uma revisão bibliográfica onde são referidos, de forma sucinta, diferentes trabalhos onde esta técnica é estudada, nomeadamente nas áreas da saúde, da prática desportiva e, especificamente, do futsal. De seguida, são apresentados os objectivos do trabalho.

No capítulo 2 são identificadas as matérias e métodos empregues na dissertação. Estes são compostos pela apresentação da amostra, equipamentos, as condições do local de aquisição e o treino específico que os atletas praticaram nesta componente prática. De seguida, é apresentado, de forma concisa, o protocolo experimental, composto pelos materiais utilizados para esse efeito e o procedimento experimental utilizado para a recolha das imagens termográficas. Para finalizar este capítulo, define-se o modo de selecção das ROI e o algoritmo utilizado para a análise e processamento dos termogramas.

No capítulo 3 é apresentada a análise e discussão dos resultados. Nesta secção são abordados os resultados obtidos das ROI das imagens recolhidas e de que maneira estas regiões de interesse se comportam termicamente antes do treino, após o treino e 20 horas após o treino.

Por fim, no capítulo 4 é feita a conclusão do respectivo trabalho e são abordadas potenciais perspectivas futuras acerca da utilização da termografia por infravermelho no âmbito da prática desportiva.

Capítulo 2 – Materiais e Métodos

Para demonstrar, em termos práticos, a utilização da termografia por infravermelho na análise do desempenho físico na prática desportiva, foram recolhidas imagens termográficas de uma equipa de jogadores de futsal, de modo a observar-se e analisar-se o seu comportamento térmico, nomeadamente nas áreas estudadas, e como estas evoluíram termicamente nas três fases de registo, de acordo com os exercícios submetidos durante um treino/jogo.

2.1. Amostra

Para isso, foram assim utilizados como amostra, 7 atletas de futsal do sexo masculino da equipa da Associação Desportiva do Fundão, com idades, pesos e alturas diferenciadas. Para esta recolha de imagens, os atletas têm entre 21 e 30 anos, com uma média de idades de 25 anos. De massa corporal, foram obtidos valores entre 60 e 82 kg, com uma média de peso de 73 kg. E uma altura média de 1,73 m, com valores entre 1,59 e 1,84 m. Antes da recolha das imagens termográficas, nenhum atleta relatou qualquer dor ou desconforto nos membros inferiores e todos os voluntários consentiram a recolha e análise das mesmas. Por ultimo, não foram ingeridas bebidas alcoólicas, medicamentos ou tabaco antes da recolha. Estas variáveis de cada atleta podem ser observadas na Tabela 1.

Nesta recolha de imagens, foram utilizados 3 momentos distintos. Antes do treino, logo após o treino e cerca de 20 horas após o treino. Assim, foi possível observar-se de que maneira os músculos dos membros inferiores se comportam a nível térmico e como este evolui 20 horas da realização do treino.

Tabela 1 - Principais características físicas da amostra

Atleta	Idade	Massa corporal (Kg)	Altura (m)
1	24	76,0	1,74
2	23	81,3	1,80
3	21	66,7	1,69
4	26	82,0	1,84
5	23	77,0	1,82
6	30	68,0	1,64
7	25	60,0	1,59

2.2. Equipamento

Para a recolha das imagens termográficas, foi utilizada uma câmara termográfica, modelo FLIR-E50. Tem um *display* bastante intuitivo que facilita a sua utilização com rapidez e precisão. Devido às suas especificações, onde é possível observar as principais características na Tabela 2, foi possível estudar as alterações termográficas das regiões de interesse escolhidas para esta componente prática.

Tabela 2: Características principais da FLIR-E50 [92]

<i>Características</i>	<i>Especificidades</i>
Intervalo de temperatura	-20°C a 650°C (-4°F a 1202°F)
Sensibilidade térmica	Entre 0,05°C a 30°C
Tipo de detector – <i>Focal plane array</i> (FPA)	240 x 180 pixels
Câmara de vídeo	3.1 MP com lâmpada LED

Através da câmara, estabilizando-a em cima de um tripé, recolheram-se as imagens dos membros inferiores da amostra para, de seguida, transferi-las para o computador onde foram processadas e armazenadas pelo software *FLIR Tools*. Na Figura 18 é possível observar a própria câmara já posicionada para a captação das imagens.



Figura 18 - Câmara termográfica: Modelo FLIR E50

Para além da câmara termográfica, foi utilizado um termohigrómetro (Figura 19) onde foi possível medir a humidade e a temperatura ambiente no momento da recolha das imagens termográficas. Isto porque, para a realização da análise e processamento termográfico, estes factores podem ter uma influência determinante para a obtenção de resultados mais fiáveis.



Figura 19 – Termohigrómetro

2.3. Condições do local de aquisição

Para esta componente prática, todo o processo da aquisição das imagens foi executado dentro de uma sala fechada, observável na Figura 20. Antes de ser iniciado o processo de recolha das imagens, foram feitas algumas medições para assegurar que o local estava dentro dos valores necessários para a captação.

Para a escolha do local ser a mais indicada, foi necessário não haver qualquer inclinação significativa do piso onde foi colocada a câmara termográfica e os atletas, não ocorrerem correntes de ar para evitar mudanças térmicas. Mediram-se os valores da temperatura atmosférica e da humidade e assegurou-se que não havia fontes luminosas que permitissem influenciar a temperatura do local.

Nomeadamente, os valores da temperatura ambiente e da humidade, relativo à sala em questão, foram 16,5°C e 63%, respectivamente.



Figura 20 – Local de aquisição das imagens

2.4. Treino específico dos atletas

Apesar da responsabilidade do treino ser da equipa de Futsal da Associação Desportiva do Fundão, ficou planeado com a equipa técnica que, na impossibilidade de haver jogo oficial no momento da recolha dos termogramas, seria realizado um treino/jogo onde seria feita, durante o período do treino, uma simulação de um jogo de futsal.

Neste caso específico, o jogo/treino foi composto por 3 partes de 8 minutos, com um intervalo de 3 minutos entre elas. Assim, ficou assegurado que os atletas em estudo realizaram o esforço físico característico de um jogo de futsal.

2.5. Protocolo experimental

Para assegurar que a aquisição das imagens termográficas fosse a mais rigorosa possível, foi construído um protocolo para este efeito, minimizando assim o aparecimento de qualquer imprevisto ou variável indesejada que pudesse comprometer o efeito.

Como já foi referido anteriormente, foram utilizados 3 momentos distintos para a obtenção dos registos termográficos, divididos em 2 dias. Para iniciarmos este processo, foi necessário conferir o material necessário para o seu efeito e as regiões de interesse em estudo, que foram objecto de análise posteriormente à aquisição das imagens termográficas.

2.5.1. Material utilizado

Para este trabalho, foi utilizado um termohigrómetro, para medir a temperatura ambiente e a humidade relativa; uma câmara termográfica (FLIR E50), para fazer a recolha das imagens termográficas; fita adesiva, para marcar o lugar onde os atletas iam ficar colocados no momento da captura da imagem; e uma fita métrica, para ficar registada a distância entre a câmara termográfica e o atleta.

2.5.2. Regiões de Interesse (ROI)

As regiões de interesse seleccionadas foram os músculos da face anterior e posterior da zona da coxa, os quadríceps e os isquiotibiais, respectivamente. Ou seja, para isso, foram recolhidas

as imagens dos membros inferiores, face anterior e posterior, de cada atleta. A selecção das ROIs nas imagens adquiridas aconteceu, à *posteriori*, através de um algoritmo na ferramenta Matlab, criado para esse propósito.

2.5.3. Procedimento Experimental

Antes da recolha das imagens, verificou-se o funcionamento de todos os equipamentos utilizados, nomeadamente da câmara termográfica e do termohigrómetro.

Registaram-se os valores da temperatura ambiente e da humidade relativa, sendo estes já referidos anteriormente.

De seguida, verificou-se se todas as condições necessárias para o local onde foram recolhidas as imagens termográficas.

Fez-se a marcação do local exato onde os atletas permaneciam imóveis para a aquisição das imagens. Posteriormente, colocou-se a câmara termográfica a uma distância de 2,2m da marcação, distância essa que permitiu captar, de forma satisfatória, os membros inferiores de cada atleta.

No momento da recolha, foram registadas 2 imagens por cada ROI. Ou seja, por cada atleta, foram recolhidas 8 imagens termográficas. Como foram utilizados 3 momentos de recolha, foram captadas no total 168 imagens termográficas ao longo do procedimento experimental.

2.6. Definição e selecção da região de interesse

Como já foi referido anteriormente, a definição da região de interesse incidiu nos músculos mais utilizados e que implicam mais desgaste físico para a prática do futsal

Para a selecção das regiões de interesse em todas as imagens captadas, foi utilizada a ferramenta Matlab para a construção de um algoritmo. Através do mesmo, foi possível seleccionar, em todas as imagens captadas, a ROI que pretendíamos analisar, como é demonstrado na Figura 21.

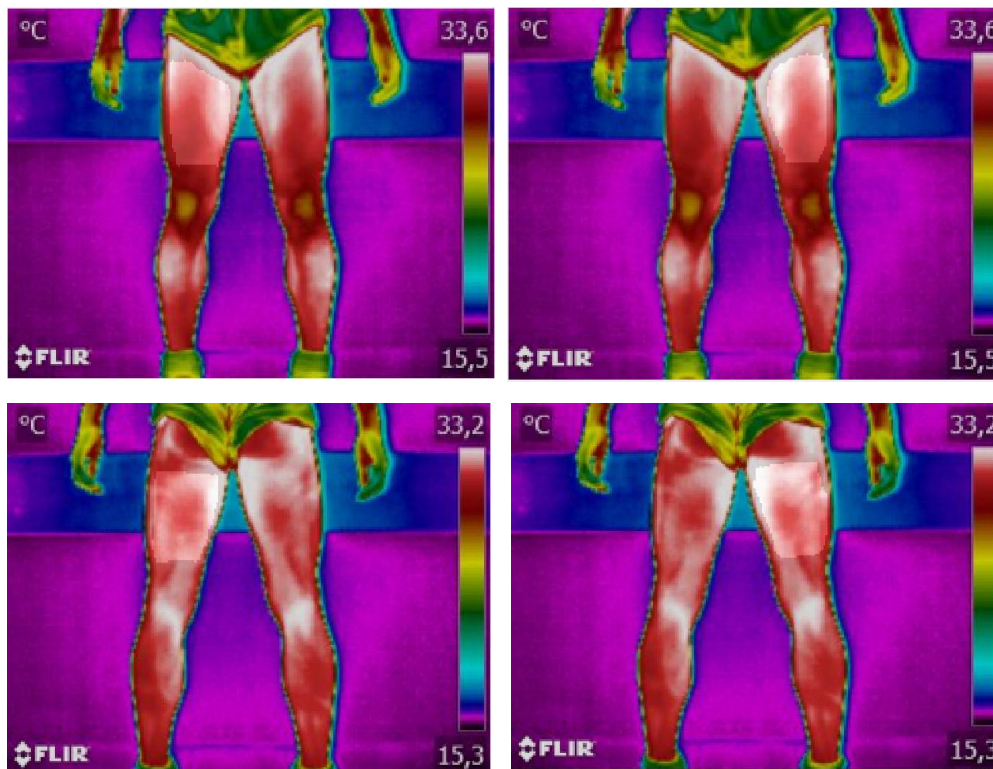


Figura 21 – Selecção das ROI das imagens termográficas

2.7. Algoritmo de análise e processamento dos termogramas

Para ser possível uma análise termográfica da ROI, de forma bastante rigorosa e correcta, foi criado um algoritmo na ferramenta Matlab. Através deste, foi possível seleccionar a ROI pretendida, já referido anteriormente, e extrair certas variáveis, directamente ligadas à temperatura dessa mesma zona de interesse, como por exemplo a temperatura média, temperatura máxima, temperatura mínima, a mediana e o desvio padrão. Para além disso, através do Matlab, foi construído o gráfico boxplot das regiões de interesse seleccionadas.

Para a utilização deste algoritmo, é utilizada a imagem térmica que se quer analisar e o ficheiro em formato csv da mesma. Este ficheiro permite ter, de forma exata, a temperatura de cada pixel da própria imagem. Para extrair esse ficheiro foi utilizado o software FLIR Tools, que permite também transferir os termogramas da câmara para o computador, ajustar certos parâmetros tais como a emissividade, a humidade relativa e a distância focal.

Apos iniciarmos o algoritmo, seleccionamos a ROI que é pretendida do termograma através do cursor, como fica demonstrado na figura 22.

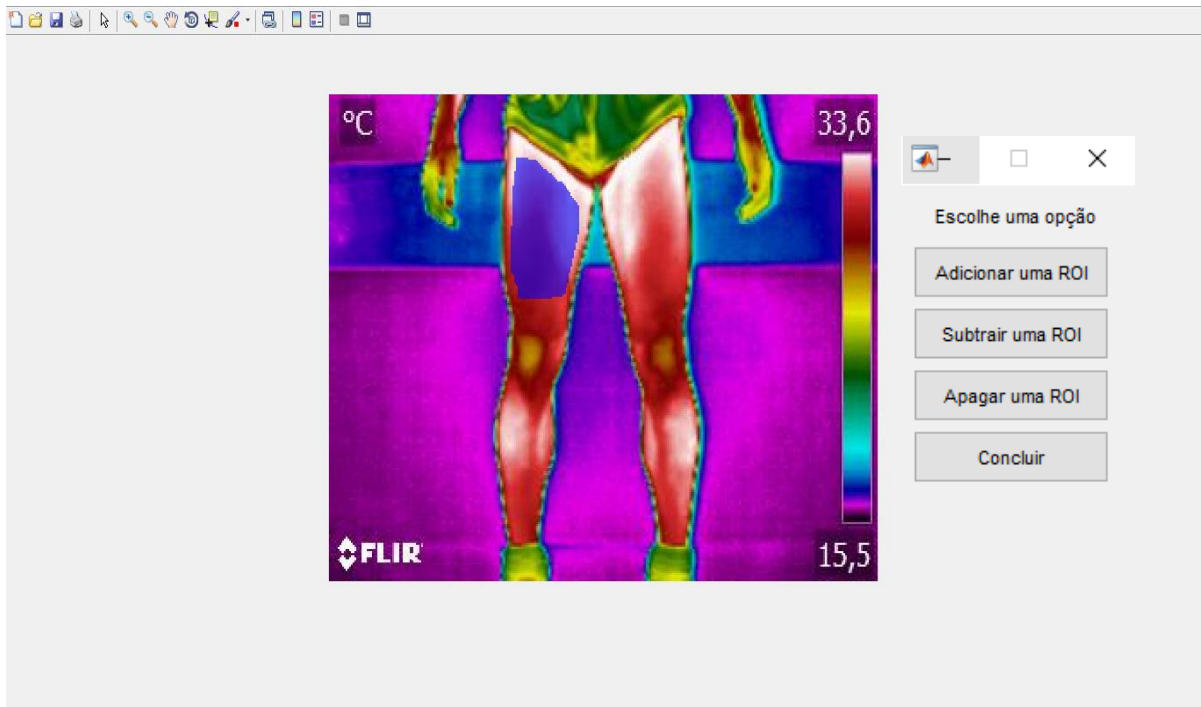


Figura 22 – Seleção da ROI do termograma no Matlab

Após a confirmação de que a ROI selecionada é a pretendida, é calculado de forma imediata as variáveis já mencionadas anteriormente (Figura 23)

```
A temperatura maxima da região selecionada é 33.53  
A temperatura mínima da região selecionada é 30.46  
A média da temperatura da região selecionada é 32.05  
A mediana da temperatura da região selecionada é 32.07  
O desvio padrao da temperatura da regio selecionada é 0.78
```

Figura 23 – Valores das variáveis pretendidas de uma ROI específica apresentados no Matlab

De seguida, para extrair e visualizar a boxplot da região selecionada, é utilizado o comando “boxplot (x)”, onde x é a matriz da zona selecionada. O resultado final é apresentado na figura 24.

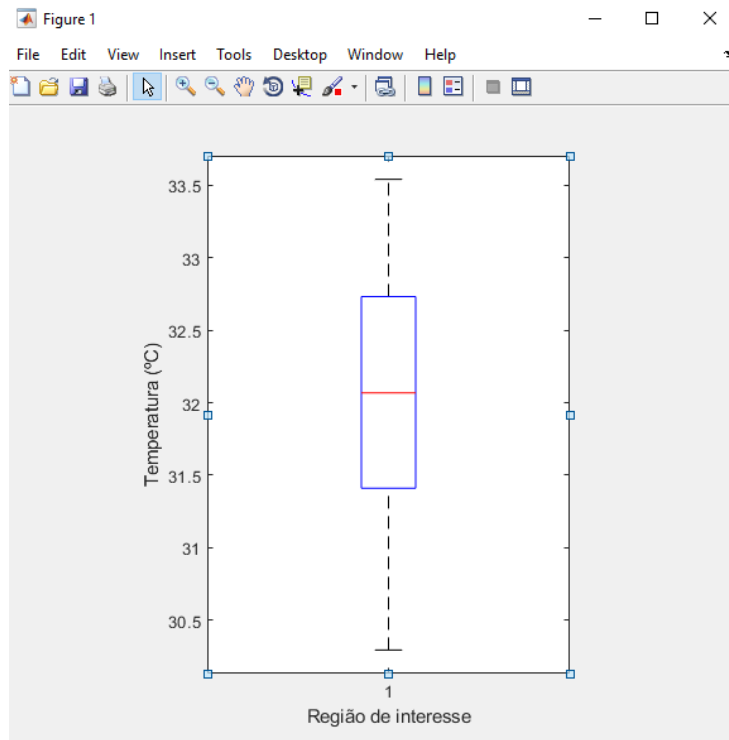


Figura 24 – Boxplot da ROI selecionada

Capítulo 3 – Análise e discussão de resultados

Para a análise dos resultados obtidos, foi tomada em atenção a recolha de todas as ROI dos atletas. Após a utilização do algoritmo e a posterior construção dos diferentes gráficos boxplots para cada ROI de cada atleta, indicados no Anexo 2, foi recolhida toda a informação necessária para a análise da mesma.

3.1. Análise do comportamento térmico nos 3 momentos de recolha dos atletas

De modo geral, verificou-se que em todos os atletas, a alteração térmica subjacente a uma ROI é semelhante a todas as ROI analisadas dessa mesma amostra. Por exemplo, como é possível verificar nos gráficos das figuras 25, 26, 27 e 28, a alteração térmica que ocorre após o treino e 24 horas após este, é uniforme. Neste caso específico, na amostra nº 6, há um aumento de temperatura após o treino e uma diminuição da temperatura 24 horas após o treino, acontecendo este processo em todas as ROI analisadas para este atleta.

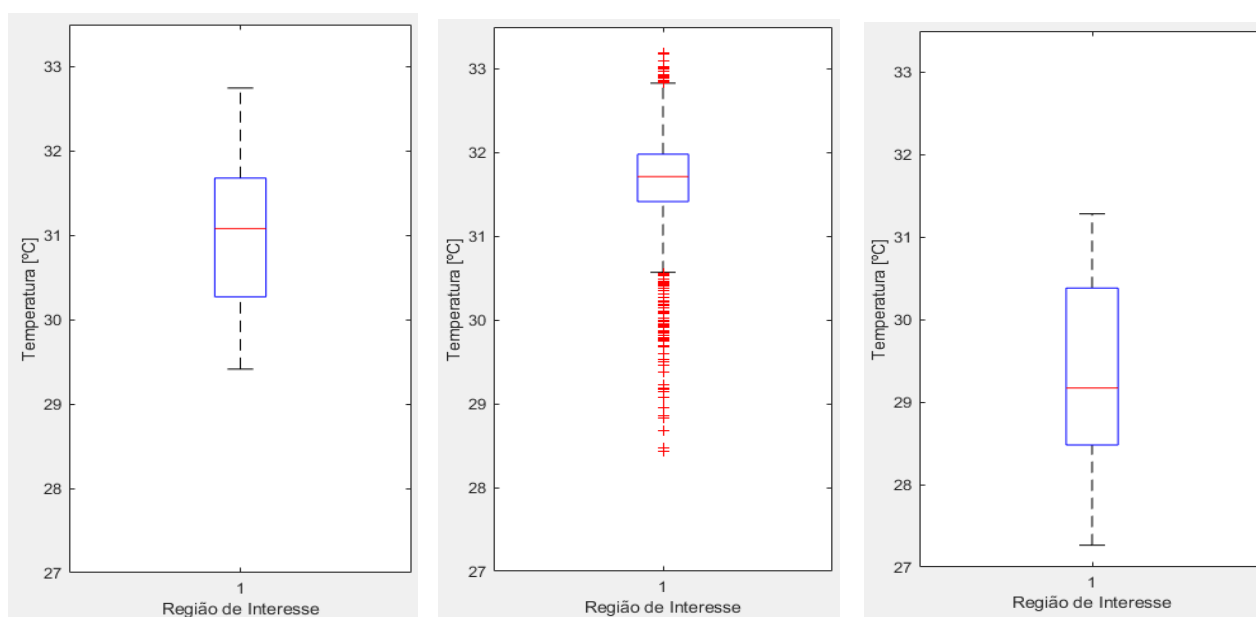


Figura 25 – Boxplot da face anterior da coxa direita do atleta nº6 nos 3 momentos, antes do treino, após o treino e 20 horas após o treino

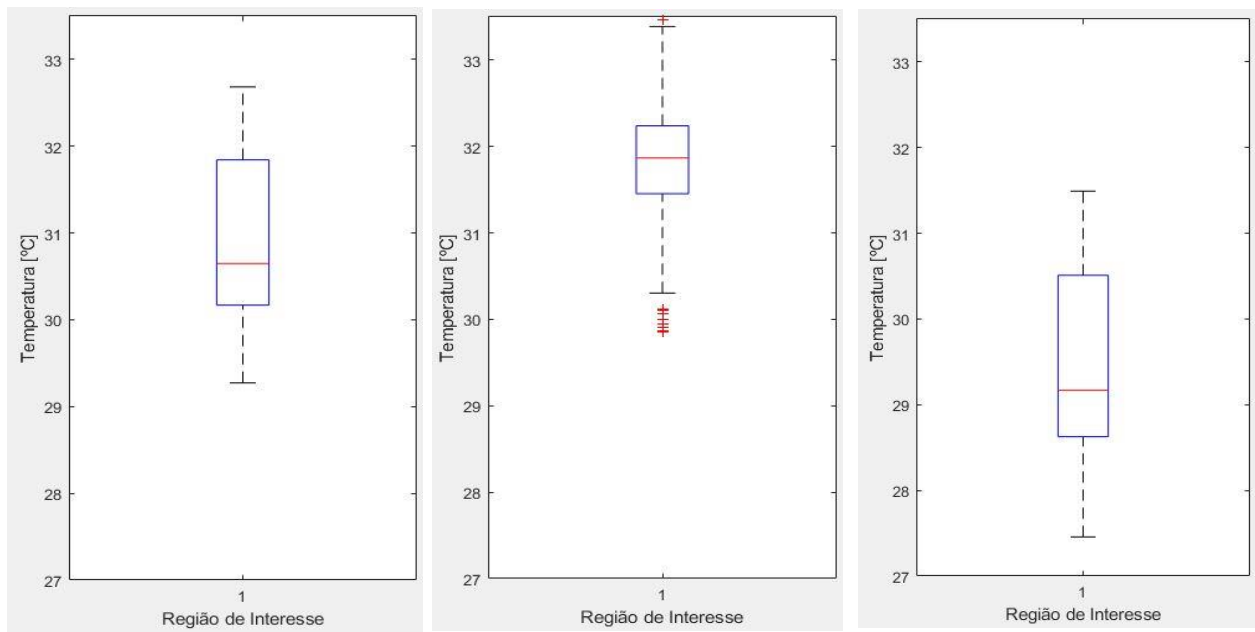


Figura 26 – Boxplot da face anterior da coxa esquerda do atleta nº6 nos 3 momentos, antes do treino, após o treino e 20 horas após o treino

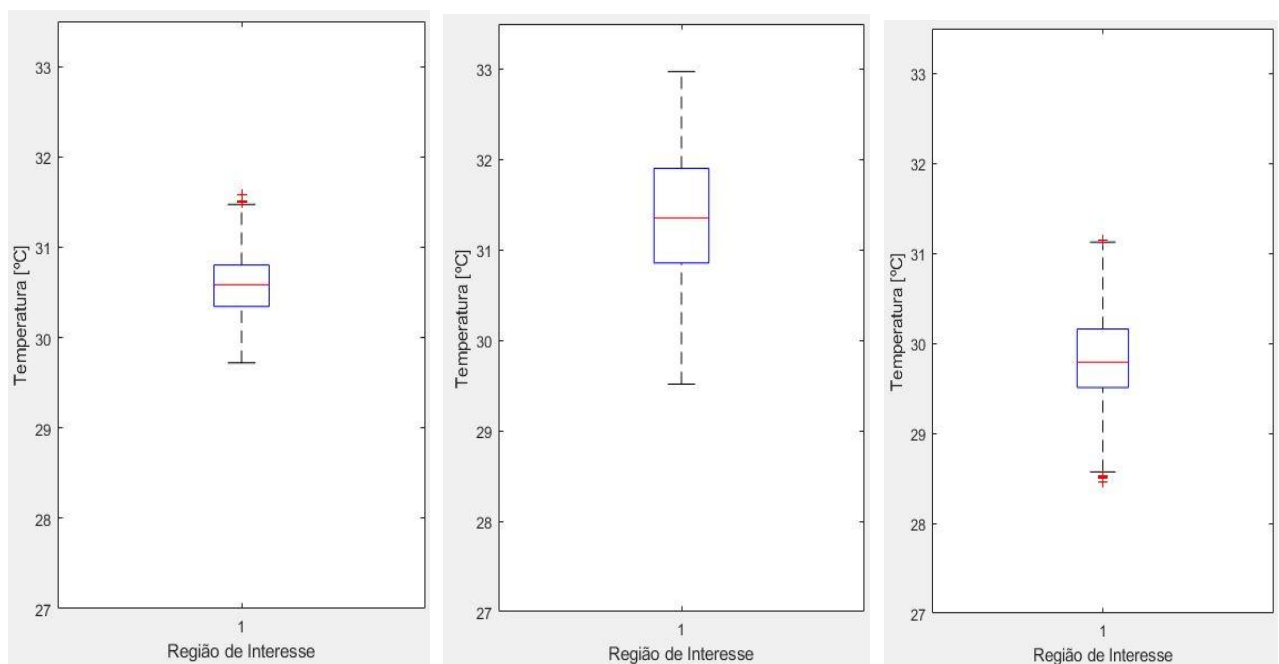


Figura 27 – Boxplot da face posterior da coxa direita do atleta nº6 nos 3 momentos, antes do treino, após o treino e 20 horas após o treino

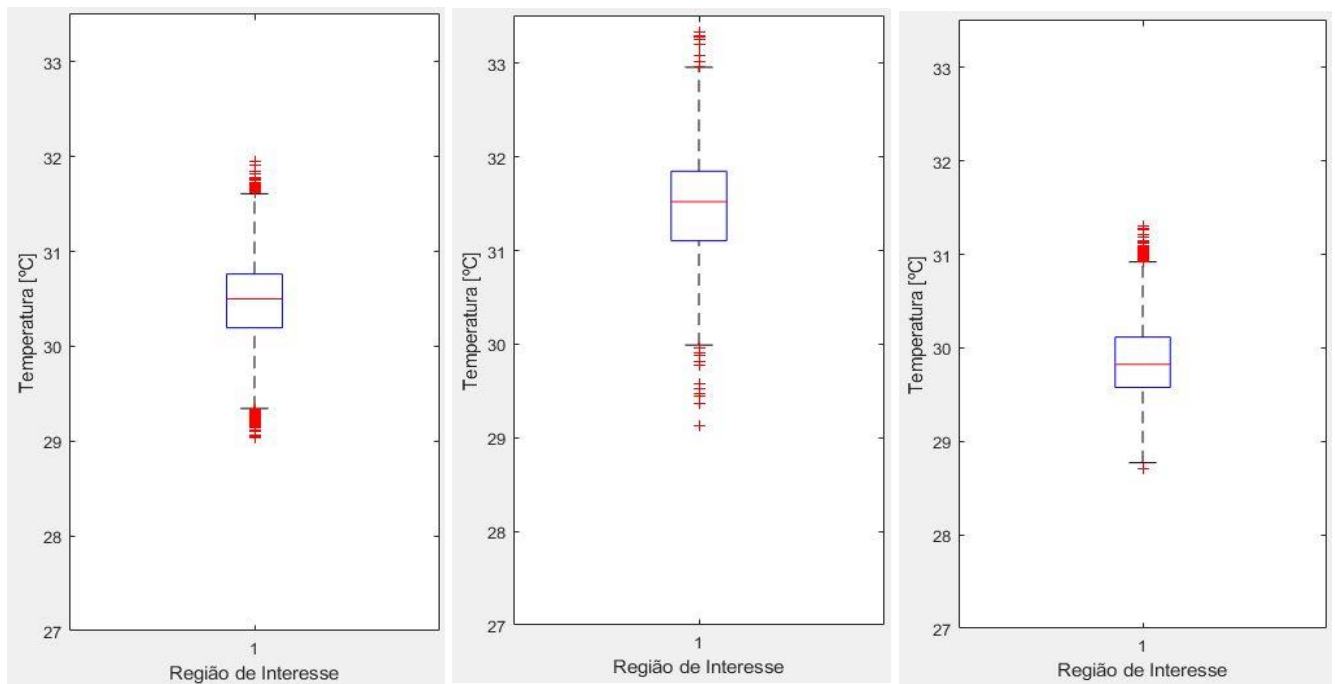


Figura 28 – Boxplot da face posterior da coxa esquerda do atleta n°6 nos 3 momentos, antes do treino, após o treino e 20 horas após o treino

Esta variação térmica uniforme encontra-se em maior parte das amostras utilizadas. Contudo, ocorrem algumas exceções, onde há diferenças mínimas no comportamento das ROI entre si do mesmo atleta, nomeadamente na amostra n° 4, não observando uma coerência no comportamento térmico em todas as regiões analisadas. Neste caso específico, como é possível observar nas Figuras 29, 30, 31 e 32, não há alterações significativas entre o 1º e o 2º momento de recolha nas faces anteriores da perna. Pelo contrário, nas faces posteriores, há uma descida da temperatura.

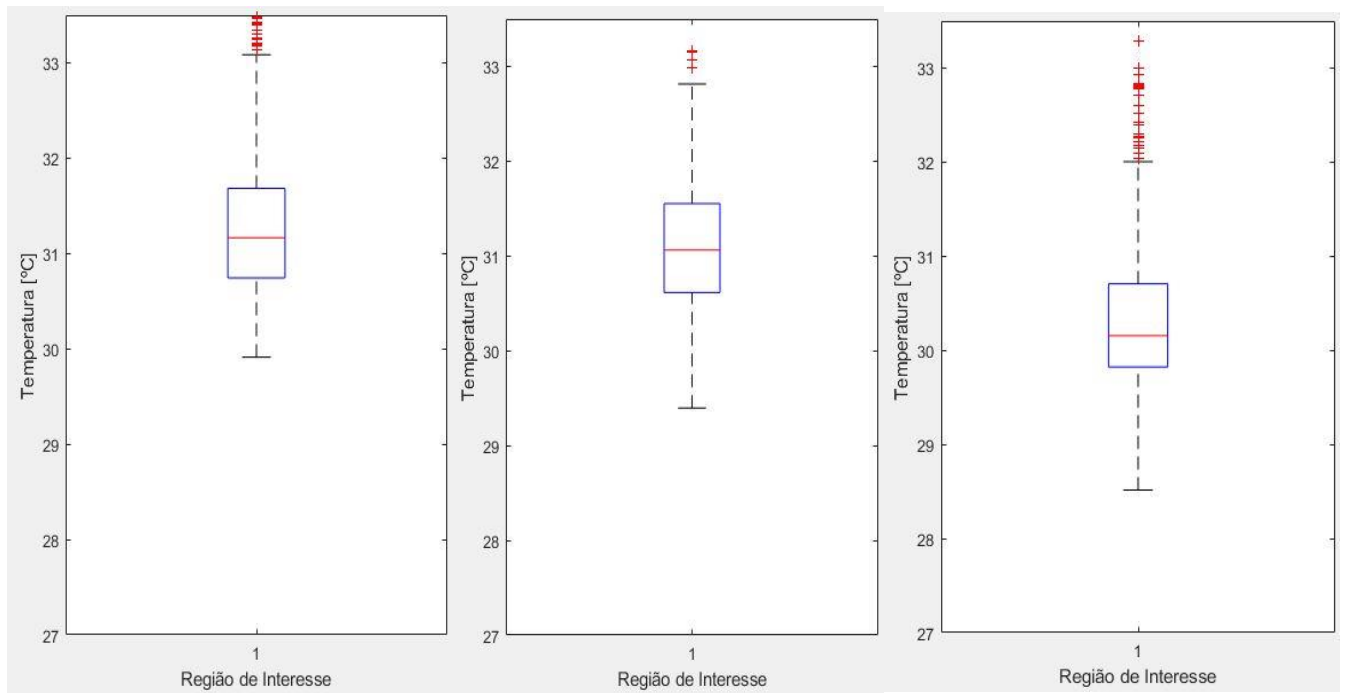


Figura 29 – Boxplot da face anterior da coxa direita do atleta nº4 nos 3 momentos, antes do treino, após o treino e 20 horas após o treino

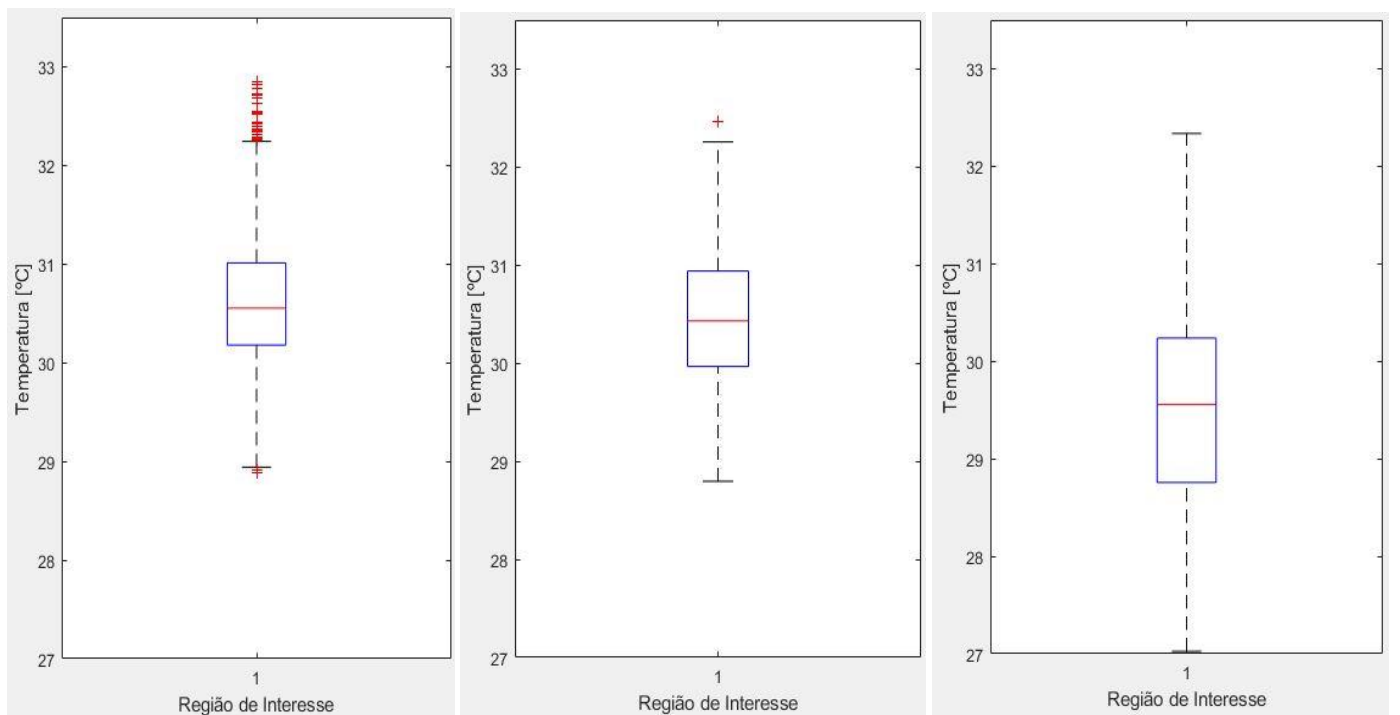


Figura 30 – Boxplot da face anterior da coxa esquerda do atleta nº4 nos 3 momentos, antes do treino, após o treino e 20 horas após o treino

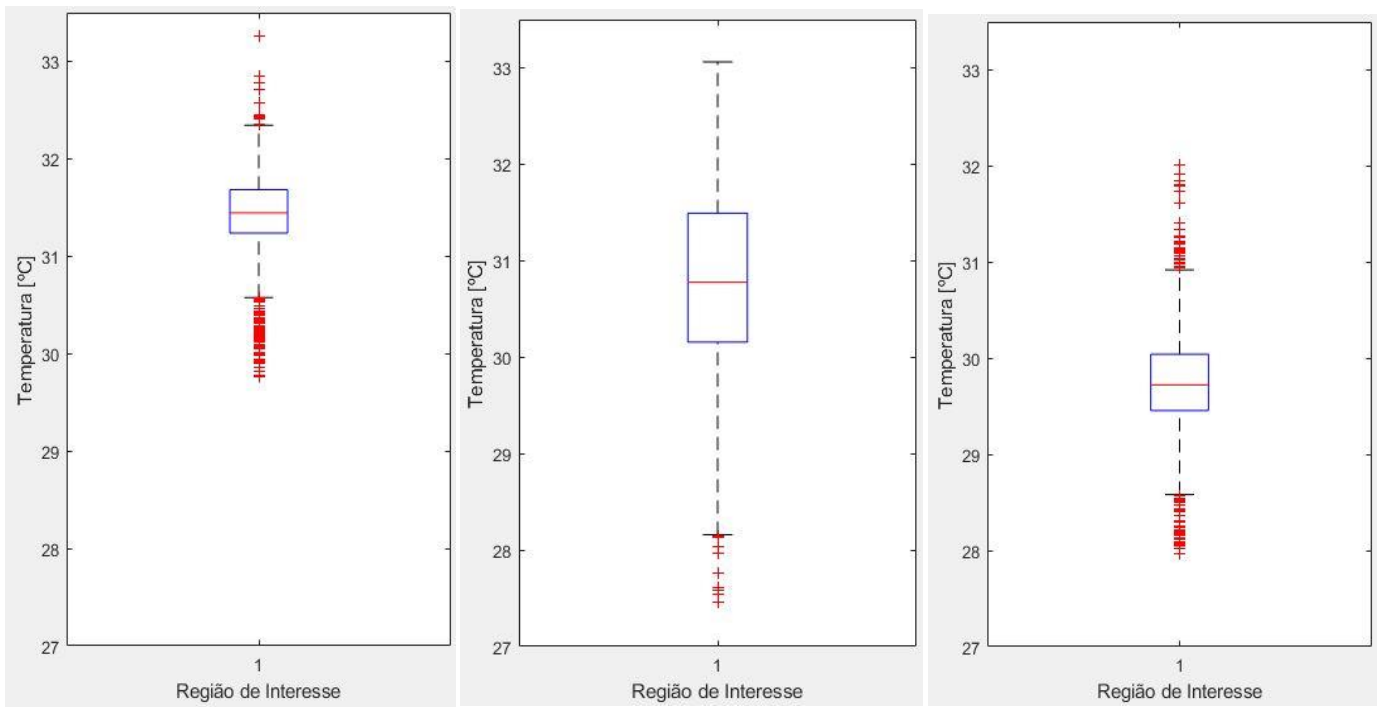


Figura 31 – Boxplot da face posterior da coxa direita do atleta n°4 nos 3 momentos, antes do treino, após o treino e 20 horas após o treino

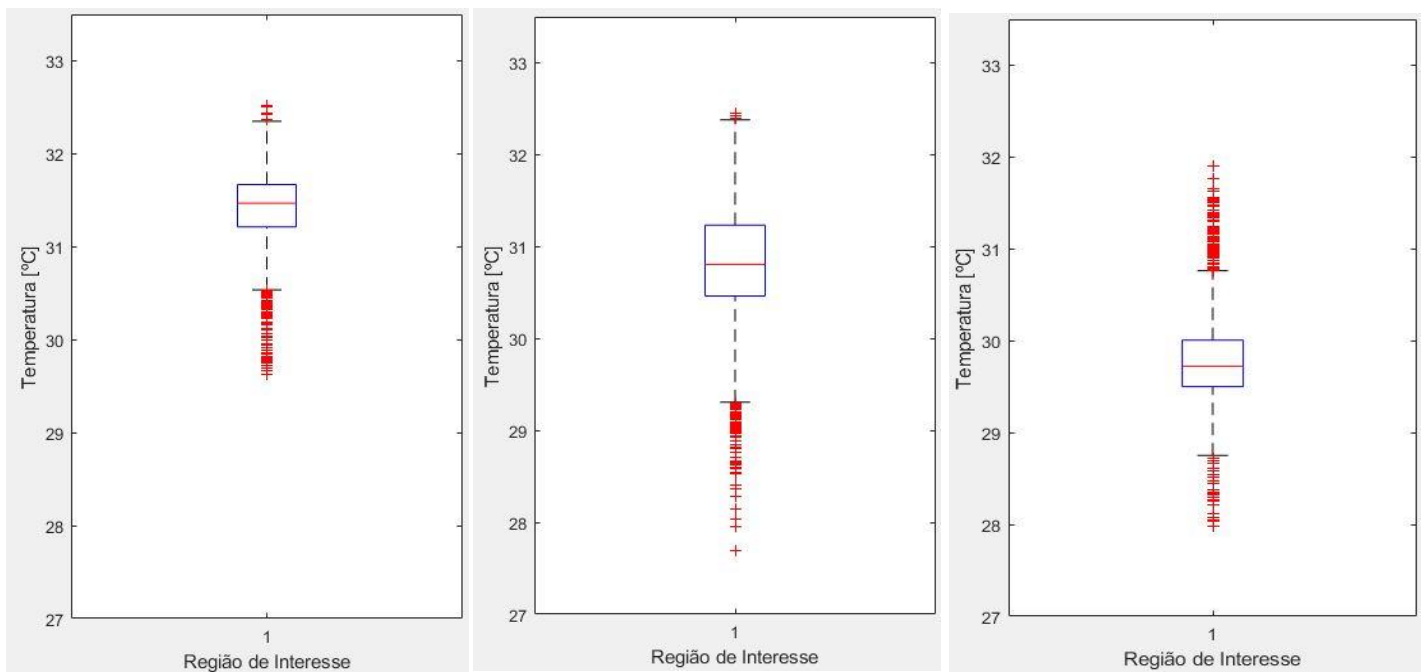


Figura 32 – Boxplot da face posterior da coxa esquerda do atleta n°4 nos 3 momentos, antes do treino, após o treino e 20 horas após o treino

3.2. Análise do comportamento térmico antes do treino e após o treino

Também é possível observar e analisar o comportamento térmico das diferentes ROI antes do treino e após o treino, comparando estas entre si. Aqui, as alterações térmicas diferem de atleta para atleta. Como já foi mencionado, dentro do mesmo atleta, de modo geral, as ROI têm o mesmo comportamento térmico. Contudo, se analisarmos e compararmos os atletas entre si, o mesmo não ocorre. Estes têm padrões térmicos diferentes.

Por exemplo, no atleta n^o 1, se analisarmos as ROI antes do treino e após o treino, ocorre uma descida da temperatura nestas regiões da face anterior, sendo possível observar esse comportamento na face anterior direita do atleta na Figura 33. O mesmo acontece com as regiões da face posterior do mesmo. No atleta n^o 2, também ocorre uma subida da temperatura entre estes dois momentos em discussão. Aqui, a subida de temperatura ocorre em todas as ROI analisadas deste atleta, que vai de acordo à uniformização da temperatura relatada no tópico anterior. Na figura 34 é possível observar uma ROI desse atleta nestes dois momentos.

No atleta n^o5 volta a ocorrer uma descida da temperatura após o treino, indicado na figura 35, sendo observável este efeito em todas as suas ROIs analisadas.

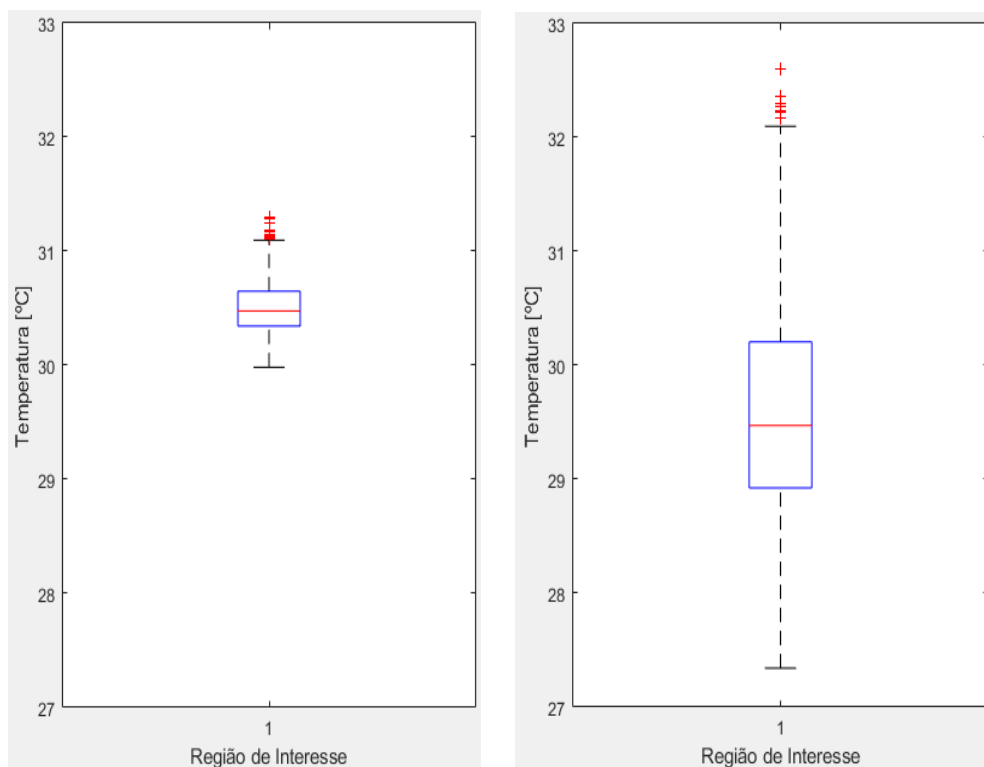


Figura 33 – Boxplot da face anterior da coxa direita do atleta n^o1 em 2 momentos, antes do treino e após o treino

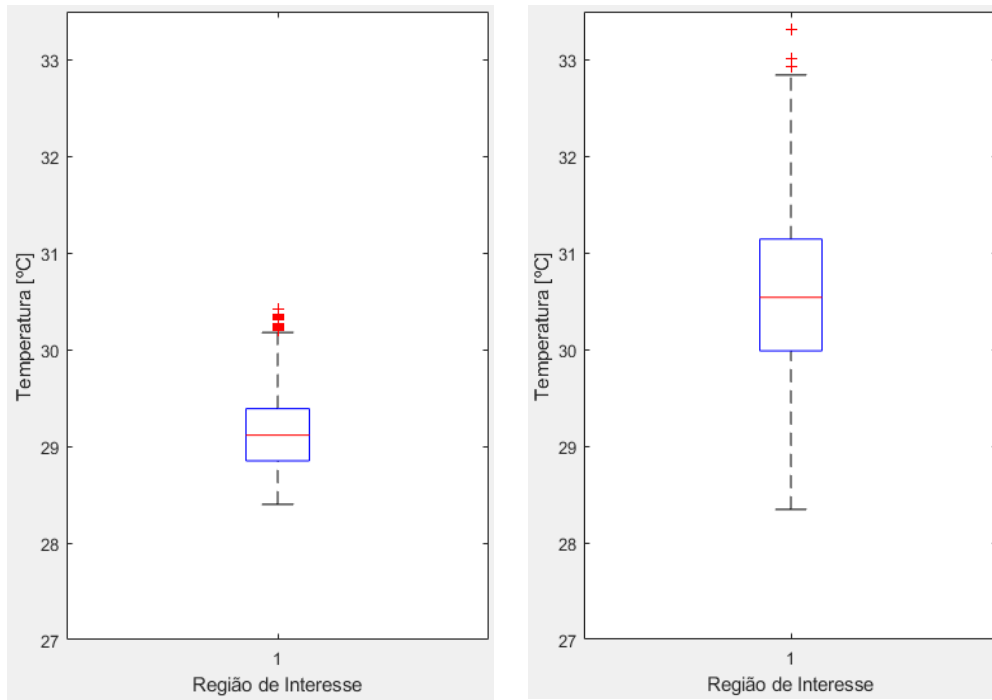


Figura 34 – Boxplot da face anterior da coxa direita do atleta n°2 em 2 momentos, antes do treino e após o treino

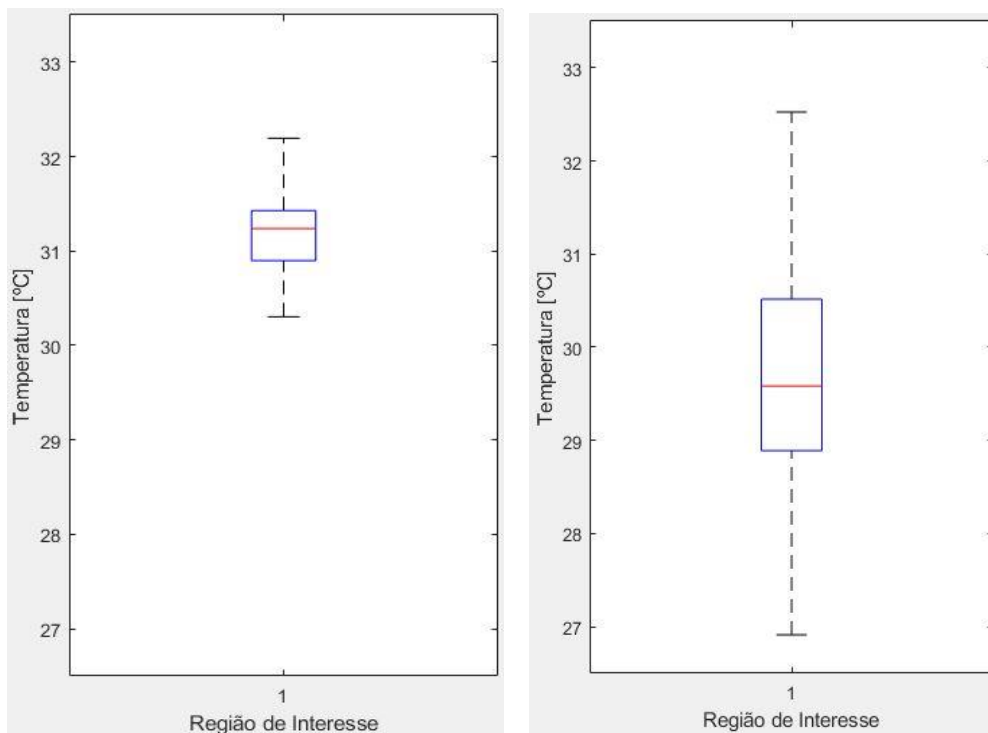


Figura 35 – Boxplot da face anterior da coxa direita do atleta n°5 em 2 momentos, antes do treino e após o treino

Nos restantes atletas, as alterações térmicas entre estes dois momentos são pequenas e não uniformes para todas as ROI, sendo em alguns casos específicos, uma alteração nula da temperatura, como é o caso dos atletas nº 3, 4 e o 7.

3.3. Análise do comportamento térmico após o treino e 20 horas após o treino

Fazendo também uma análise do comportamento térmico 20 horas após o treino em comparação com o momento logo após o treino, verifica-se maiores semelhanças térmicas entre todas as amostras.

De modo geral, em todas as ROIs analisadas, há uma descida da temperatura no último momento da recolha das imagens, encontrando assim um padrão entre estes dois momentos. Contudo, é importante referir que só nos atletas nº 2 e nº 6 é que ocorre uma descida significativa em todas as ROIs observadas destes atletas. Por exemplo, no atleta nº 1, a descida de temperatura acentuada só se verifica na face anterior da coxa. Na face contrária há uma alteração bastante pequena da temperatura, como é demonstrado nas figuras 36, 37, 38 e 39

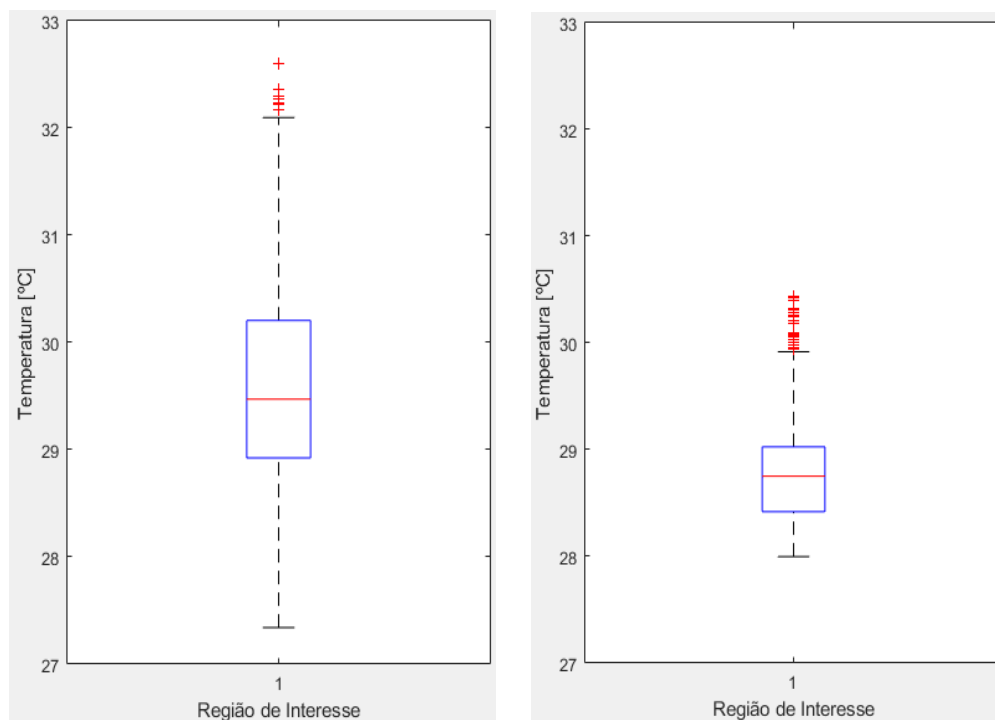


Figura 36 – Boxplot da face anterior da coxa direita do atleta nº1 em 2 momentos, após o treino e 20 após o treino

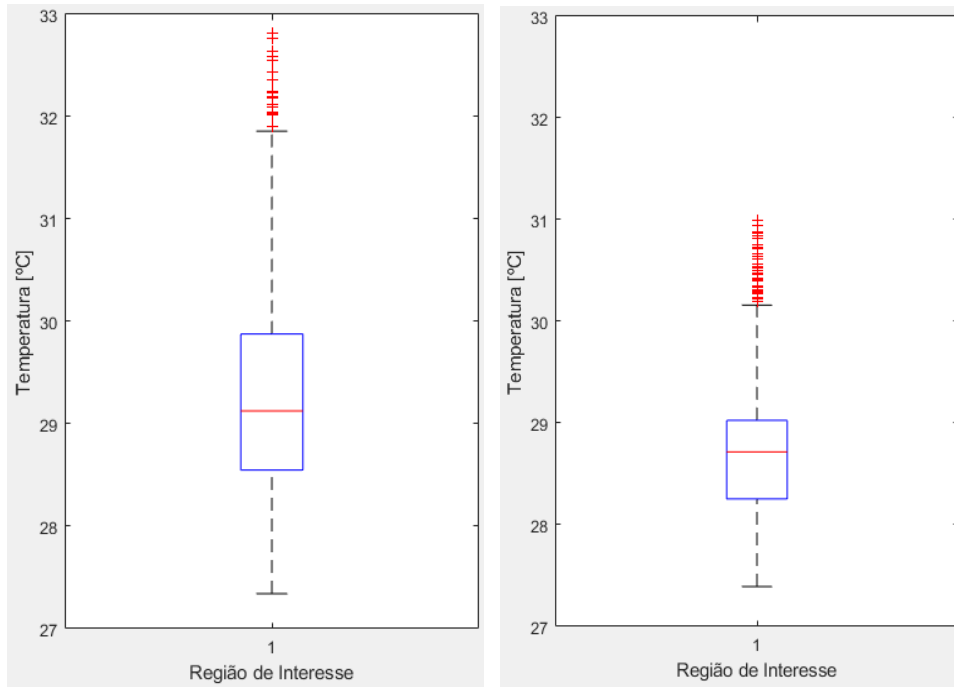


Figura 37 – Boxplot da face anterior da coxa esquerda do atleta n°1 em 2 momentos, após o treino e 20 após o treino

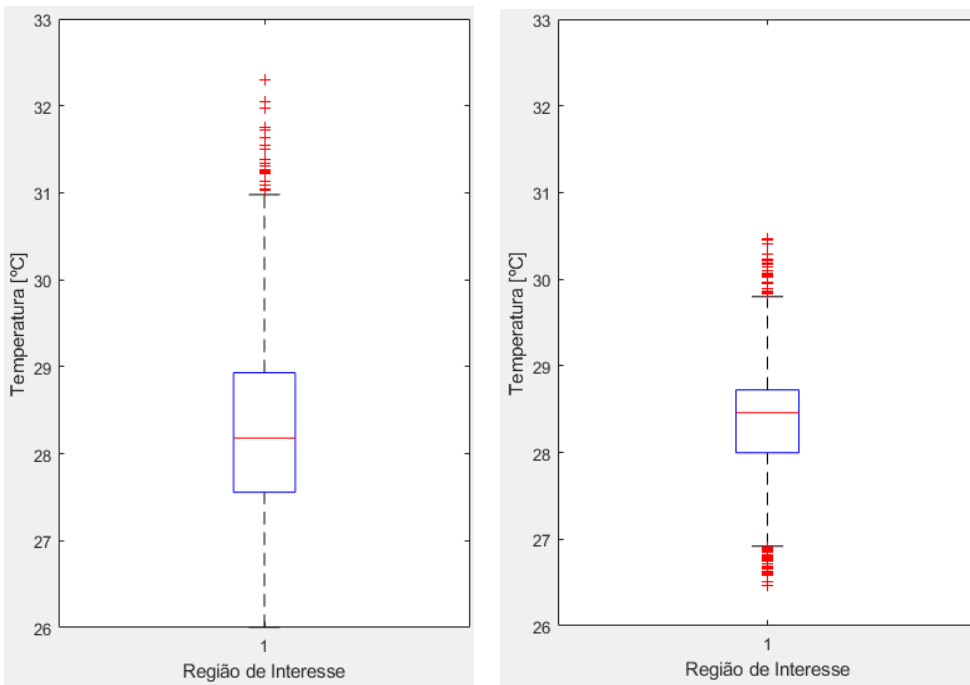


Figura 38 – Boxplot da face posterior da coxa direita do atleta n°1 em 2 momentos, após o treino e 20 após o treino

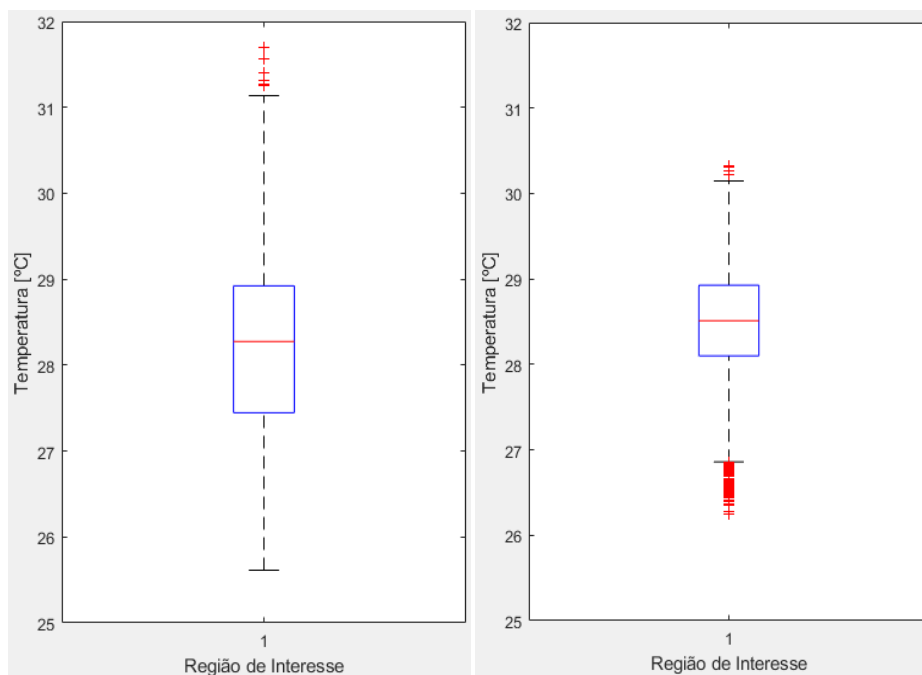


Figura 39 – Boxplot da face posterior da coxa esquerda do atleta n°1 em 2 momentos, após o treino e 20 após o treino

Nas restantes amostras, a descida da temperatura não é substancial nem ocorre uma uniformidade dela, no mesmo atleta. Curiosamente, na amostra n° 5, ocorre até um ligeiro aumento da temperatura na face posterior da coxa, como é possível observar nas figuras 40 e 41.

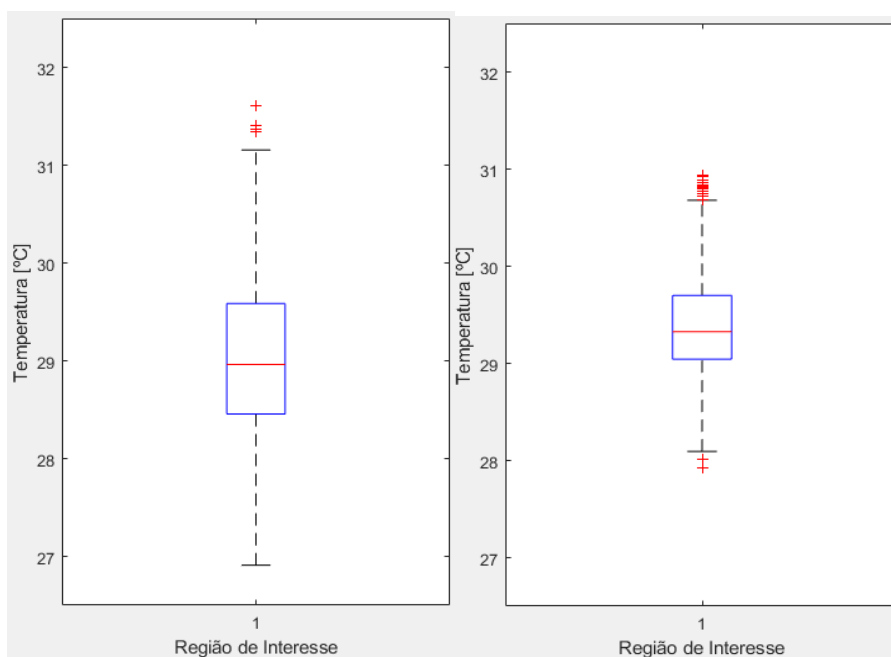


Figura 40 – Boxplot da face posterior da coxa direita do atleta n°5 em 2 momentos, após o treino e 20 após o treino

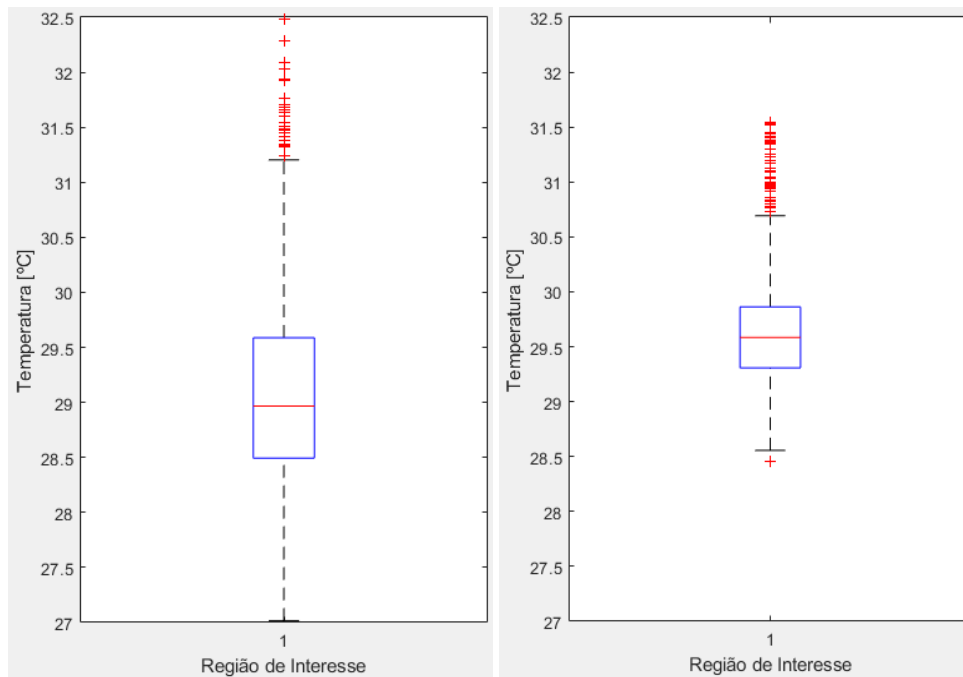


Figura 41 – Boxplot da face posterior da coxa esquerda do atleta nº5 em 2 momentos, após o treino e 20 após o treino

Por ultimo, se analisarmos as variações térmicas observadas através da comparação entre o membro direito e o membro esquerdo, é possível concluir que não existe um padrão de correlação entre os dois lados. Ou seja, excepto as amostras onde ocorre uma uniformização das alterações térmicas em todas as ROIs, não é possível verificar uma tendência de um dos membros em algum atleta.

Capítulo 4 - Conclusão

Ao longo deste trabalho, a termografia por infravermelho foi utilizada como uma ferramenta importante e relevante na análise térmica de determinadas regiões do corpo. Ainda nesse aspecto, foi utilizada uma modalidade desportiva específica e analisou-se de que maneira é que essas mesmas regiões se comportam termicamente após a actividade física.

Como foi demonstrado no Capítulo 3, foi possível observar várias abordagens para a análise dos resultados obtidos. Com isso, é possível demonstrar que esta ferramenta permite tratar e analisar os dados de diferentes maneiras, para também assim utilizá-los dependendo do objectivo que se pretenda alcançar. Por exemplo, o modo de como foi possível observar que as alterações térmicas são bastante semelhantes dentro do mesmo atleta, é exemplo de que, de modo geral, o mesmo não demonstra fadiga em regiões do corpo em prol de outras. Caso contrário, caso haja diferenças substanciais em diferentes lados dos membros inferiores, lado esquerdo ou lado direito, pode ser resultado de diferentes esforços físicos de determinadas regiões do corpo ao longo da prática desportiva em questão.

Outra abordagem relevante foi a análise dos dados antes do treino/jogo e após o mesmo. Utilizando a Termografia por Infravermelho neste intervalo, é possível demonstrar como diferentes regiões de interesse do atleta se comportam termicamente e tirar vantagens sobre esse aspecto. Seja no caso de observar pequenas zonas que estejam mais quentes, prevendo desde já uma possível lesão muscular, caso seja esse o caso, ou até mais direccionada para o rendimento do atleta onde seja possível saber que diferentes regiões musculares tem um tempo de recuperação mais curto, podendo assim serem trabalhadas com mais persistência.

Esta técnica pode também ser utilizada com o propósito de saber o tempo de recuperação de diferentes zonas. Para isso, através das imagens termográficas 20 horas após o treino/jogo, e a sua posterior análise, foi possível saber de que forma é que determinadas regiões dos membros inferiores evoluíram termicamente no dia seguinte. Comparando com os dados obtidos antes do treino, demonstra-se assim se determinadas regiões recuperam mais facilmente que outras, dando assim a ideia do tempo de recuperação do próprio atleta, e com isso concluir que tempo de duração de jogo mais se adequa ao atleta.

Ou seja, sendo assim, é perceptível de que maneira é que a termografia por infravermelho, utilizada na componente desportiva, pode oferecer inúmeras vantagens. Para além da forma de

como esta técnica é flexível a diversas áreas e como esta pode ser utilizada, mesmo dentro da componente desportiva, com diferentes abordagens, sempre direccionadas para o objectivo pretendido, as capacidades da termografia por infravermelho podem ser um auxílio interessante para a prática do futsal. Sendo o atleta uma peça fulcral nesta modalidade, tendo uma ferramenta capaz de o proteger de diferentes formas, os objectivos individuais e colectivos tornam-se mais fácil de ser alcançados.

4.1 Perspectivas futuras

Para concluir este trabalho, é importante realçar certos pontos que podem servir como perspectivas futuras para trabalhos posteriores. Após a realização desta dissertação e toda a pesquisa inerente a ela, tendo em conta também os resultados obtidos, podemos que concluir que:

- A importância de um número de amostras mais elevado, de modo a ter uma maior visualização geral do comportamento térmico dos atletas;
- Um maior acompanhamento ao nível do treino prático desempenhado pelos atletas, de modo a aumentar também o número dos exercícios realizados, fazendo uma correlação com a posterior análise termográfica;
- A introdução, em termos práticos, de marcadores bioquímicos que possibilitem fazer uma correlação entre estes e os resultados obtidos nos termogramas;
- Abranger um número maior de regiões de interesse, de modo que seja possível fazer uma correlação mais inclusiva entre os resultados obtidos e a componente prática da modalidade, de maneira a entender melhor o funcionamento das zonas analisadas;
- Apesar da modalidade onde este trabalho se insere ter sido, exclusivamente, o futsal, seria interessante ampliar a área de utilização desta técnica para outras modalidades.

Referências Bibliográficas

- [1] S. Schmidt-Olsen, U. Jørgensen, S. Kaalund, and J. Sørensen, “Injuries among young soccer players,” *Am. J. Sports Med.*, vol. 19, no. 3, pp. 273–275, 1991, doi: 10.1177/036354659101900311.
- [2] A. Junge and J. Dvorak, “Injury risk of playing football in Futsal World Cups,” *Br. J. Sports Med.*, vol. 44, pp. 1089–1092, 2010, doi: 10.1136/bjism.2010.076752.
- [3] M. E. Varkiani, M. H. Alizadeh, and L. Pourkazemi, “The Epidemiology of Futsal Injuries Via Sport Medicine Federation Injury Surveillance System of Iran in 2010,” *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 82, pp. 946–951, 2013, doi: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.08.001>.
- [4] R. Santa Cruz, B. Vespasiano, R. Oliveira, and Í. Pellegrinotti, “Measurement of technical aspects of a futsal team during an official competition,” *Rev. Acta Bras. do Mov. Hum.*, vol. 3, p. 57, 2013.
- [5] M. Brioschi, L. Yeng, E. Pastor, and M. Teixeira, “Utilização da Imagem Infravermelha em Reumatologia,” *Rev. Bras. Reumatol.*, vol. 47, pp. 42–51, 2012, doi: 10.1590/S0482-50042007000100008.
- [6] G. Kastberger and R. Stachl, “Infrared imaging technology and biological applications,” *Behav. Res. methods, instruments, Comput. a J. Psychon. Soc. Inc*, vol. 35, no. 3, pp. 429–439, Aug. 2003, doi: 10.3758/bf03195520.
- [7] M. Brioschi, L. Yeng, and M. Teixeira, “Diagnóstico Avançado em Dor por Imagem Infravermelha e Outras Aplicações,” *Prat. Hosp.*, vol. 50, pp. 93–98, 2007.
- [8] A. Nowakowski, “Quantitative Active Dynamic Thermal IR-Imaging and Thermal Tomography in Medical Diagnostics,” 2006.
- [9] Y. Rotrou, “Thermographie courtes longueurs d’onde avec des caméras silicium : contribution à la modélisation radiométrique,” Ecole nationale supérieure de l’aéronautique et de l’espace, 2006.
- [10] E. Gauthier *et al.*, “ITER-like wide-angle infrared thermography and visible observation diagnostic using reflective optics,” *Fusion Eng. Des.*, vol. 82, no. 5, pp. 1335–1340, 2007, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fusengdes.2007.06.026>.
- [11] A. Shimanskii, A. Gorodishcheva, S. Kopytkova, and T. Kulakovskaya, “Thermal stability of the properties of germanium crystals for IR optics,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1353, p. 12062, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1353/1/012062.
- [12] P. Francisca, P. Meza, C. N., and S. Torres, “Infrared Focal Plane Array Imaging System Characterization by Means of a Blackbody Radiator,” 2011, vol. 7042, pp. 105–112, doi: 10.1007/978-3-642-25085-9_12.
- [13] B. Vainer, “Focal plane array based infrared thermography in fine physical experiment,” *J. Phys. D. Appl. Phys.*, vol. 41, p. 65102, 2008, doi: 10.1088/0022-3727/41/6/065102.
- [14] L. Zheng and M. Tidrow, “Analyses of infrared focal plane array figure of merit and its impact on sensor system trades,” *Infrared Phys. Technol.*, vol. 52, no. 6, pp. 408–411, 2009, doi: <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2009.08.001>.
- [15] FLIR Systems Inc., “User’s manual: FLIR Exx series,” 2016, p. 186, 2016, [Online]. Disponível em: <http://www.omega.com/manuals/manualpdf/M5162.pdf>.

- [16] I. Sanches, H. Gamba, M. de Souza, E. Neves, and P. Nohama, "Fusão 3D de imagens de MRI/CT e termografia," *Rev. Bras. Eng. Biomed.*, vol. 29, pp. 298–308, 2013.
- [17] S. Kolkur, D. Kalbande, P. Shimpi, C. Bapat, and J. Jatakia, "Human Skin Detection Using RGB, HSV and YCbCr Color Models," 2017, doi: 10.2991/iccasp-16.2017.51.
- [18] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital image processing (2nd edition)*. 2002.
- [19] W. K. Pratt, *Digital Image Processing: PIKS Scientific Inside*. USA: Wiley-Interscience, 2007.
- [20] R. HELERBROCK, "Espectro eletromagnético," *Espectro eletromagnético*. <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/espectro-eletromagnetico.htm>.
- [21] Y. Li, X. Bai, T. Yang, H. Luo, and C.-W. Qiu, "Structured thermal surface for radiative camouflage," *Nat. Commun.*, vol. 9, 2018, doi: 10.1038/s41467-017-02678-8.
- [22] F. J. Sanchez-Marin, S. Calixto-Carrera, and C. Villaseñor-Mora, "Novel approach to assess the emissivity of the human skin," *J. Biomed. Opt.*, vol. 14, no. 2, pp. 1–6, 2009, doi: 10.1117/1.3086612.
- [23] G. B. Rybicki and A. P. Lightman, *Radiative Processes In Astrophysics*. 1979.
- [24] R. B. Northrop and D. Hristov, "Noninvasive Instrumentation and Measurements in Medical Diagnosis," *Med. Phys.*, vol. 30, no. 9, p. 2565, 2003, doi: <https://doi.org/10.1118/1.1600741>.
- [25] J. C. Zwinkels, "Blackbody and Blackbody Radiation," in *Encyclopedia of Color Science and Technology*, R. Luo, Ed. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2014, pp. 1–5.
- [26] Wikipédia, "Lei de Wien --- Wikipédia{,} a enciclopédia livre." 2021, [Online]. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Lei_de_Wien&oldid=60174686.
- [27] E. M. Integridade and D. E. E. Ltda, "Curso: Inspeção de Equipamentos e Instalações Petrobrás / UN-Rio Noções sobre," no. 21, pp. 0–13, 2004.
- [28] J. Dozier and S. Warren, "Effect of view angle on the infrared brightness temperature of snow," *Water Resour. Res.*, vol. 18, pp. 1424–1434, 1982, doi: 10.1029/WR018i005p01424.
- [29] T. Nunak, K. Rakrueangdet, N. Nunak, and T. Suesut, "Thermal Image Resolution on Angular Emissivity Measurements using Infrared Thermography."
- [30] E. Barreira and V. Freitas, "Evaluation of building materials using infrared thermography," *Construction and Building Materials*, vol. 21, pp. 218–224, 2007, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2005.06.049.
- [31] P. Meinschmidt and J. Aderhold, "Thermographic Inspection of Rotor Blades," *Proc. 9th Eur. Conf. NDT*, no. January, pp. 1–9, 2006.
- [32] V. F. Cruzat, M. M. Rogero, M. C. Borges, and J. Tirapegui, "Current aspects about oxidative stress, physical exercise and supplementation," *Rev. Bras. Med. do Esporte*, vol. 13, no. 5, pp. 336–342, 2007, doi: 10.1590/S1517-86922007000500011.
- [33] K. Suzuki Suzuki K, Totsuka M, Nakaji S, Yamada M, Kudoh S, Liu Q, Sugawara K, Yamaya K, Sato K, "Endurance exercise causes interaction among stress hormones, cytokines, neutrophil dynamics, and muscle damage.," *J. Appl. Physiol.*, vol. 87, no. 4, pp. 1360–1367, Oct. 1999, doi: 10.1152/jappl.1999.87.4.1360.

- [34] P. Brancaccio, F. M. Limongelli, and N. Maffulli, "Monitoring of serum enzymes in sport.," *Br. J. Sports Med.*, vol. 40, no. 2, pp. 96–97, Feb. 2006, doi: 10.1136/bjism.2005.020719.
- [35] M. Totsuka, S. Nakaji, K. Suzuki, K. Sugawara, and K. Sato, "Break point of serum creatine kinase release after endurance exercise.," *J. Appl. Physiol.*, vol. 93, no. 4, pp. 1280–1286, Oct. 2002, doi: 10.1152/jappphysiol.01270.2001.
- [36] D. Freitas, R. Miranda, and M. Filho, "Marcadores psicológico, fisiológico e bioquímico para determinação dos efeitos da carga de treino e do overtraining," *Rev. Bras. Cineantropometria e Desempenho Hum.*, vol. 11, 2009, doi: 10.5007/1980-0037.2009v11n4p457.
- [37] M. . THRALL, *Hematologia e Bioquímica Clínica Veterinária*, 1º Edição. 2007.
- [38] W. R. Kim, S. L. Flamm, A. M. Di Bisceglie, and H. C. Bodenheimer, "Serum activity of alanine aminotransferase (ALT) as an indicator of health and disease," *Hepatology*, vol. 47, no. 4, pp. 1363–1370, 2008, doi: <https://doi.org/10.1002/hep.22109>.
- [39] D. R. Dufour, "Creatine kinase:aspartate aminotransferase activity ratio as an indicator of the source of an increased creatine kinase activity.," *Clin. Chem.*, vol. 34, no. 12, pp. 2506–2510, Dec. 1988.
- [40] E. Barreira, "Aplicação da termografia ao estudo do comportamento higrotérmico dos edifícios," 2012.
- [41] N. P. Avdelidis and A. Moropoulou, "Emissivity considerations in building thermography," *Energy Build.*, vol. 35, no. 7, pp. 663–667, 2003, doi: [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00210-4](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00210-4).
- [42] M. L. Chew, "Assessing building façades using infra-red thermography," *Struct. Surv.*, vol. 16, pp. 81–86, 1998.
- [43] E. F. J. Ring and K. Ammer, "Infrared thermal imaging in medicine," *Physiol. Meas.*, vol. 33, pp. R33–46, 2012, doi: 10.1088/0967-3334/33/3/R33.
- [44] E. F. J. Ring and K. Ammer, "The Technique of Infra red Imaging in Medicine," *Thermol. Int.*, vol. 10, pp. 7–14, 2000, doi: 10.1088/978-0-7503-1143-4ch1.
- [45] B. B. Lahiri, B. Subramainam, T. Jayakumar, and J. Philip, "Medical applications of infrared thermography: A review," *Infrared Phys. Technol.*, vol. 55, pp. 221–235, 2012, doi: 10.1016/j.infrared.2012.03.007.
- [46] N. Köşüş, A. Köşüş, M. Duran, S. Simavlı, and N. Turhan, "Comparison of standard mammography with digital mammography and digital infrared thermal imaging for breast cancer screening.," *J. Turkish Ger. Gynecol. Assoc.*, vol. 11, no. 3, pp. 152–157, 2010, doi: 10.5152/jtgga.2010.24.
- [47] G. Polidori, Y. Renard, S. Lorimier, H. Pron, S. Derruau, and R. Taiar, "Medical Infrared Thermography assistance in the surgical treatment of axillary Hidradenitis Suppurativa: A case report," *Int. J. Surg. Case Rep.*, vol. 34, pp. 56–59, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijscr.2017.03.015>.
- [48] S. Rekant, M. Lyons, J. Pacheco, J. Arzt, and L. Rodriguez, "Veterinary applications of infrared thermography," *Am. J. Vet. Res.*, vol. 77, pp. 98–107, 2015, doi: 10.2460/ajvr.77.1.98.
- [49] C. Stelletta, M. Giancesella, J. Vencato, E. Fiore, and M. Morgante, "Thermographic Applications in Veterinary Medicine," in *Infrared Thermography*, R. V Prakash, Ed.

Rijeka: IntechOpen, 2012.

- [50] “Automatic Health Check in Dairy Farms Using FLIR Thermal Imaging Cameras,” *FLIR*.
- [51] R. D. Gehrz, “Infrared astronomy with NASA’s new Spitzer Space Telescope,” in *Proc. SPIE, Thermosense XXVIII*, 2006, vol. 6205, p. 62050D, doi: 10.1117/12.672834.
- [52] E. Wright, “The Wide-field Infrared Survey Explorer,” in *AKARI, a Light to Illuminate the Misty Universe*, 2009, vol. 418, p. 359.
- [53] “NASA’s WISE Telescope,” *NASA Jet Propulsion Laboratory*, 2009. <https://www.jpl.nasa.gov/images/nasas-wise-telescope/>.
- [54] J. Casana, A. Wiewel, A. Cool, A. C. Hill, K. D. Fisher, and E. J. Laugier, “Archaeological Aerial Thermography in Theory and Practice,” *Adv. Archaeol. Pract.*, vol. 5, no. 4, pp. 310–327, 2017, doi: 10.1017/aap.2017.23.
- [55] A. Akula, R. Ghosh, and H. Sardana, “Thermal Imaging And Its Application In Defence Systems,” 2011, vol. 1391, doi: 10.1063/1.3643540.
- [56] B. Mesnik, “Detection, Recognition, and Identification – Thermal vs. Optical IP Camera,” *Kintronics*, 2016. .
- [57] G. C. Holst, *Common sense approach to thermal imaging*. Winter Park (FL); Bellingham(WA): JCD ; SPIE Optical Engineering Press, 2000.
- [58] R. Pleșu, G. Teodoriu, and G. Taranu, “Infrared thermography applications for building investigation.,” *Bull. Polytech. Inst. Iasi - Constr. Archit. Sect.*, vol. 62, pp. 157–168, 2012.
- [59] FLIR Systems, “Thermal Imaging Guidebook for building and renewable energy applications,” *Guid B.*, p. 68, 2011, [Online]. Disponivel em: www.flir.com/Cnwww.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures/.../T820264_APAC.pdf.
- [60] Workswell, “Thermographic Diagnostics of Buildings Why thermography,” p. 2, 2015, [Online]. Disponivel em: <http://www.drone-thermal-camera.com/thermographic-diagnostics-buildings/>.
- [61] H. Inaba, “New challenge in advanced thermal energy transportation using functionally thermal fluids,” *Int. J. Therm. Sci. - INT J THERM SCI*, vol. 39, pp. 991–1003, 2000, doi: 10.1016/S1290-0729(00)01191-1.
- [62] G. Barker, “Chapter 16 - Utility stations, steam and condensate piping,” in *The Engineer’s Guide to Plant Layout and Piping Design for the Oil and Gas Industries*, G. Barker, Ed. Gulf Professional Publishing, 2018, pp. 381–395.
- [63] “IR – STEAM & MACHINERY,” *Maverick Inspection Ltd*. <https://www.maverickinspection.com/services/infrared-thermography/sample-imagery/ir-machinery/>.
- [64] Y. Chou and L. Yao, “Automatic Diagnostic System of Electrical Equipment Using Infrared Thermography,” in *2009 International Conference of Soft Computing and Pattern Recognition*, 2009, pp. 155–160, doi: 10.1109/SoCPaR.2009.41.
- [65] C. Castagna, S. D’Ottavio, J. Granda Vera, and J. C. Barbero Alvarez, “Match demands of professional Futsal: a case study.,” *J. Sci. Med. Sport*, vol. 12, no. 4, pp. 490–494, Jul. 2009, doi: 10.1016/j.jsams.2008.02.001.
- [66] C. A. Emery and W. H. Meeuwisse, “Risk factors for injury in indoor compared with outdoor adolescent soccer.,” *Am. J. Sports Med.*, vol. 34, no. 10, pp. 1636–1642, Oct. 2006, doi: 10.1177/0363546506288018.

- [67] H. Dörge, T. Andersen, H. Sørensen, and E. Simonsen, “Biomechanical differences in soccer kicking with the preferred and the non-preferred leg,” *J. Sports Sci.*, vol. 20, pp. 293–299, 2002, doi: 10.1080/026404102753576062.
- [68] K. Peek, D. Gatherer, K. J. M. Bennett, J. Fransen, and M. Watsford, “Muscle strength characteristics of the hamstrings and quadriceps in players from a high-level youth football (soccer) Academy,” *Res. Sports Med.*, vol. 26, no. 3, pp. 276–288, 2018, doi: 10.1080/15438627.2018.1447475.
- [69] María Palacios Vela, “Paddle and Health: Pain in the back side of the thigh,” *Padel World Press*, 2018. <https://padelworldpress.es/en/padel-and-health-pain-in-the-back-of-the-thigh/>.
- [70] L. Ernlund and L. de Almeida Vieira, “Lesões dos isquiotibiais: artigo de atualização,” *Rev. Bras. Ortop.*, vol. 52, no. 4, pp. 373–382, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rbo.2017.05.001>.
- [71] A. C. Waligora, N. A. Johanson, and B. E. Hirsch, “Clinical anatomy of the quadriceps femoris and extensor apparatus of the knee,” *Clin. Orthop. Relat. Res.*, vol. 467, no. 12, pp. 3297–3306, Dec. 2009, doi: 10.1007/s11999-009-1052-y.
- [72] “The Home Stretch,” *Cherok Chiropractic*, 2015. <https://www.drcherok.com/the-home-stretch/>.
- [73] A. Katis, E. Giannadakis, T. Kannas, I. Amiridis, E. Kellis, and A. Lees, “Mechanisms that influence accuracy of the soccer kick,” *J. Electromyogr. Kinesiol.*, vol. 23, no. 1, p. 125–131, 2013, doi: 10.1016/j.jelekin.2012.08.020.
- [74] R. H. Brophy, S. I. Backus, B. S. Pansy, S. Lyman, and R. J. Williams, “Lower extremity muscle activation and alignment during the soccer instep and side-foot kicks,” *J. Orthop. Sports Phys. Ther.*, vol. 37, no. 5, pp. 260–268, May 2007, doi: 10.2519/jospt.2007.2255.
- [75] C. Bosco, *A força muscular: aspectos fisiológicos e aplicações práticas*. Phorte, 2007.
- [76] M. Cohen, R. J. Abdalla, B. Ejnisman, and J. T. Amaro, “Lesões ortopedicas no futebol,” *Rev. Bras. Ortop.*, vol. 32, no. 12, pp. 940–944, 1997.
- [77] S. G. Carazzato, J. G.; Campos, L. A. N. ; Carazzato, “Incidência de lesões traumáticas em atletas competitivos de dez tipos de modalidades esportivas,” *Rev. Bras. Ortop.*, vol. 27, p. 745-758, 1992.
- [78] M. Leite, A. R. Meira, I. R. Rossi, and B. M. B. de Faria, “Levantamento epidemiológico de lesões dos atletas de futsal masculino entre 2000 e 2008,” *Ciência & Saúde*, 2009.
- [79] A. A. Pinto, Sérgio de Souza; Castillo, “Lesão muscular: fisiopatologia e tratamento,” *Fisioter. mov*, pp. 23–36, 1999.
- [80] J. A. Downey and D. E. Lemons, “Chapter 13 - Human Thermoregulation,” in *The Physiological Basis of Rehabilitation Medicine (Second Edition)*, Second Edi., J. A. Downey, S. J. Myers, E. G. Gonzalez, and J. S. Lieberman, Eds. Butterworth-Heinemann, 1994, pp. 351–363.
- [81] V. de S. Painelli, V. da E. Silva, G. G. Artioli, and A. H. Lancha Junior, “A temperatura dos repositores hídricos pode influenciar a capacidade aeróbia [?],” *Rev. Bras. Ciência e Mov.*, 2017.
- [82] A. Gyton, “Body temperature, temperature regulation and fever,” in *Gyton AC, Hall JE – Textbook of Medical Physiology*, 9^o. W. Saunders, Ed. Philadelphia, 1996, pp. 911–922.

- [83] B. J. Foret, O. Benoit, and S. Royant-PAROLA, "Sleep schedules and peak times of oral temperature and alertness in morning and evening 'types,'" *Ergonomics*, vol. 25, no. 9, pp. 821–827, 1982, doi: 10.1080/00140138208925038.
- [84] N. R. Khorobchuk, "Aplicação Da Termografia Para Detecção E Caracterização Da Severidade Das Espondiloartrites," 2016.
- [85] R. E. Mangine, K. A. Siqueland, and F. R. Noyes, "The use of thermography for the diagnosis and management of patellar tendinitis.," *J. Orthop. Sports Phys. Ther.*, vol. 9, no. 4, pp. 132–140, 1987, doi: 10.2519/jospt.1987.9.4.132.
- [86] N. Ludwig, M. Gargano, D. Formenti, D. Bruno, L. Ongaro, and G. Alberti, "Breathing training characterization by thermal imaging: A case study," *Acta Bioeng. Biomech. / Wrocław Univ. Technol.*, vol. 14, pp. 41–47, 2012, doi: 10.5277/abb120306.
- [87] F. Bandeira, M. A. M. Moura, M. de Souza, P. Nohama, and E. Neves, "Pode a termografia auxiliar no diagnóstico de lesões musculares em atletas de futebol?," *Rev Bras Med Esporte.*, vol. 18, pp. 234–239, 2012.
- [88] A. Corte, A. Pedrinelli, A. Marttos, I. Souza, J. Grava, and A. Hernandez, "Infrared thermography study as a complementary method of screening and prevention of muscle injuries: Pilot study," *BMJ Open Sport Exerc. Med.*, vol. 5, p. e000431, 2019, doi: 10.1136/bmjsem-2018-000431.
- [89] A. de A. Fernandes, P. R. D. S. Amorim, C. J. Brito, M. Sillero-Quintana, and J. C. Bouzas Marins, "Regional Skin Temperature Response to Moderate Aerobic Exercise Measured by Infrared Thermography.," *Asian J. Sports Med.*, vol. 7, no. 1, p. e29243, Mar. 2016, doi: 10.5812/asjsem.29243.
- [90] R. A. da Conceição Lira, J., Ilnete, C., do Vale Júnior, E. G., Monteiro, M. L., & Santa Cruz, "Simetria térmica de membros inferiores em atletas de futsal," *Rev. Obs. del Deport.*, 2019.
- [91] R. Santa Cruz, "Análise termográfica dos esforços no futsal thermographic analysis of futsal efforts," vol. 16, pp. 15–22, 2017.
- [92] FLIR-Systems, "Technical Data FLIR E50," vol. 1, no. of 4, pp. 1–2, 2012, [Online]. Disponível em: http://support.flir.com/DsDownload/Assets/39903-1301_en_40.pdf.

Anexo 1 - Algoritmo utilizado no Matlab

```
%-----Nomenclatura-----
%
% A1 - Termograma
% foto - Imagem do termograma com a mascara aplicada
% A - Termograma com dimensões 180*240

% Mat-matriz de valores da temperatura de cada pixel do termograma
% Matzona- matriz de valores de temperatura com a mascara aplicada

% fhroi - código que permite selecionar a ROI
% alphamask - código que permite visualizar a ROI selecionada

% MaxTemp - temperatura máxima da região selecionada
% MinTemp - temperatura mínima da região selecionada
% MediaTemp - temperatura mínima da região selecionada
% MedianaTemp - mediana da temperatura da região selecionada
% DpTemp - Desvio Padrão da temperatura da região selecionada

%-----Inicio do código-----

A1 = imread('termograma.jpg');

figure
imshow(A1);
hold on;
% pause(5);
h1 = imshow(A1);

imshow( A1, 'colormap', hot, 'initialMagnification', 100);
bwMask = fhroi;
D1=A1(bwMask);
X=uint8(bwMask);
Dlmasked = A1.*repmat(X,[1,1,3]);
imtool(bwMask);
imshow(bwMask)
zona=imresize(bwMask, [180,240]);

A = imresize(A1, [180,240]);
foto = uint8(zona).*A;
imshow(foto);

Mat = xlsread('ficheiro.csv');
Matzona = Mat .* zona;

matrizzona = nonzeros(Matzona);

% Variáveis pretendidas

MaxTemp = max(matrizzona);
```

```

fprintf('A temperatura maxima da região selecionada é %.2f\n',
MaxTemp);

MinTemp = min(matrizzona);
fprintf('A temperatura mínima da região selecionada é %.2f\n',
MinTemp);

MediaTemp = mean(matrizzona);
fprintf('A média da temperatura da região selecionada é %.2f\n',
MediaTemp);

MedianaTemp = median(matrizzona);
fprintf('A mediana da temperatura da região selecionada é %.2f\n',
MedianaTemp);

DpTemp = std(matrizzona);
fprintf('O desvio padrao da temperatura da regioao selecionada é
%.2f\n', DpTemp);

% % código para visualizar máscaras na imagem:

S = imresize(A1, [180,240]);
imshow(S);
hold on;
pause(5);
h1=imshow(zona);
set(h1, 'AlphaData',0.15);

% Codigo fhroi

function bwMask = fhroi(axHandle)

if ~exist('axHandle', 'var'), axHandle = gca; end;
imHandle = imhandles(axHandle);
imHandle = imHandle(1);
hOVM = [];

disp('1. Use zoom and pan tools if desired');
disp('2. Make sure no tools are selected')
disp('3. Left click and drag to add closed loop');

fhObj = imfreehand(axHandle);

try
    bwMask = createMask(fhObj, imHandle);
catch ME
    error('bwMask ROI was not created properly');

```

```

end
delete(fhObj);

roiLoop = 1;
while(roiLoop),
    delete(hOVM);
    hOVM = alphamask(bwMask);
    nextAction = menu('Escolhe uma opção','Adicionar uma ROI','Subtrair
uma ROI','Apagar uma ROI','Concluir');
    if nextAction == 1,
        fhAdd = imfreehand;
        bwAdd = createMask(fhAdd, imHandle);
        bwMask = bwMask | bwAdd;
        delete(fhAdd);
    elseif nextAction == 2,
        fhSub = imfreehand;
        bwSub = createMask(fhSub, imHandle);
        bwMask = bwMask & ~bwSub;
        delete(fhSub);
    elseif nextAction == 3,
        bwMask = bwMask & 0;
    elseif nextAction == 4,
        roiLoop = 0;
    end;
end;

% Codigo alphamask

function hOVM = alphamask(bwMask, colour, transparency, axHandle)

if ~exist('bwMask', 'var') || ~ismatrix(bwMask), error('bwMask matrix
is a required argument'); end;
if ~exist('colour', 'var'), colour = [0 0 1]; end;
if ~exist('transparency', 'var'), transparency = 0.6; end;
if ~exist('axHandle', 'var'), axHandle = gca; end;
if ~isvector(colour) || ~isscalar(transparency) ||
~ishandle(axHandle), error('One or more arguments is not in the
correct form'); end;
maskRange = max(max(bwMask))-min(min(bwMask));
if maskRange ~= 1 && maskRange ~= 0, error('bwMask must consist only
of the values 0 and 1'); end;

% Sobreposição da Região de Interesse

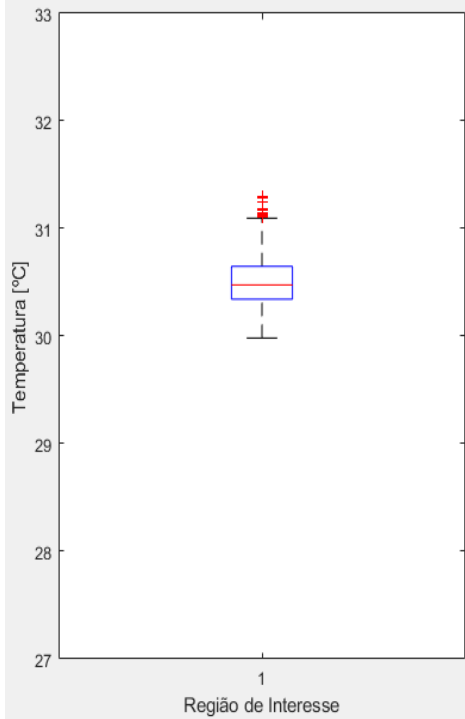
rgbI = cat(3, colour(1)*ones(size(bwMask)),
colour(2)*ones(size(bwMask)), colour(3)*ones(size(bwMask)));
hold on,
hOVM = imshow(rgbI, 'Parent', axHandle);
set(hOVM, 'AlphaData', bwMask*transparency);
hold off;

```

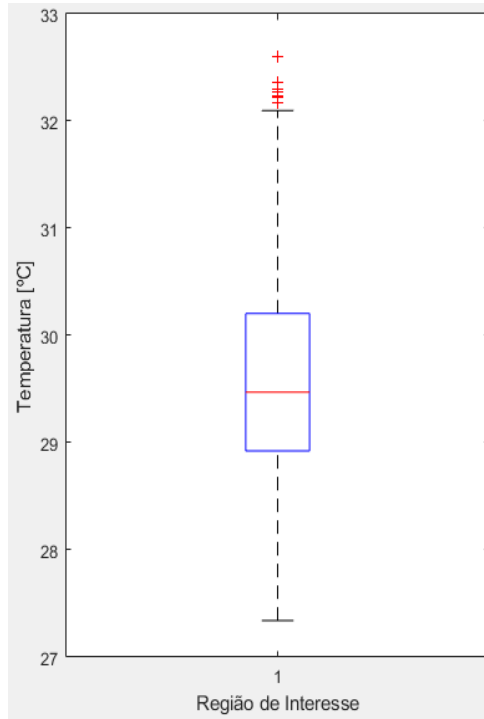
Anexo 2 - Boxplots das regiões de interesse de todos os atletas

Atleta nº 1

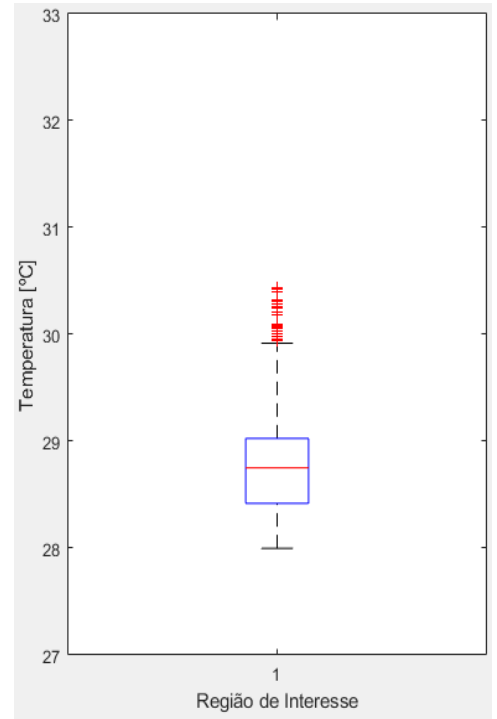
Face anterior (perna direita) – antes do treino, após o treino e 20 horas após o treino



Temp. Max: 31,3 °C
Temp. Min: 29,9 °C
Média: 30,5 °C
Mediana: 30,5 °C

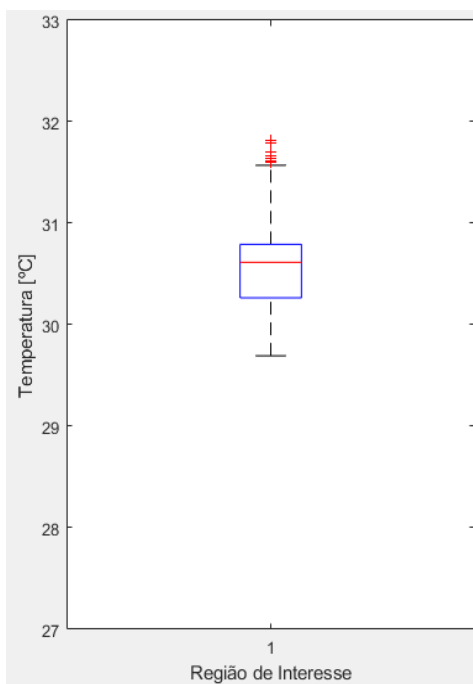


Temp. Max: 32,6 °C
Temp. Min: 27,3 °C
Média: 29,6 °C
Mediana: 29,5 °C

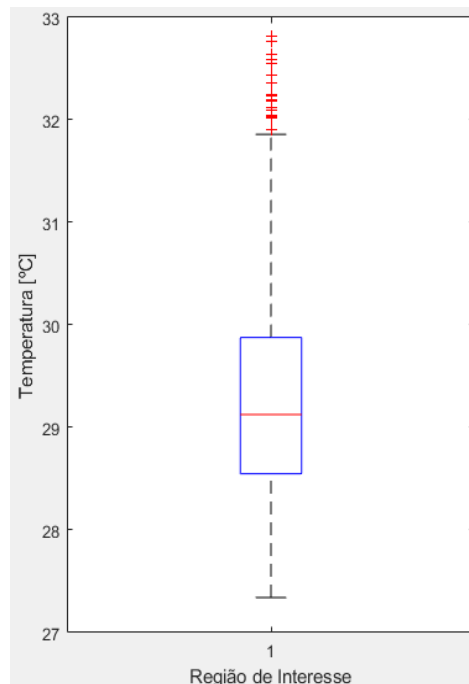


Temp. Max: 30,4 °C
Temp. Min: 28 °C
Média: 28,8 °C
Mediana: 29,8 °C

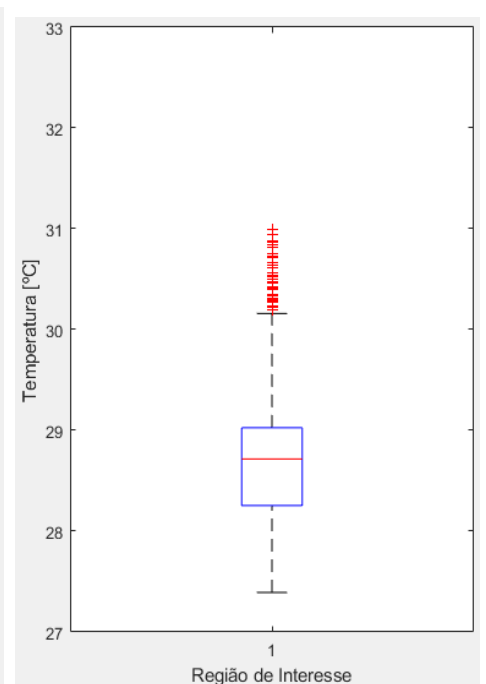
Face anterior (perna esquerda) – antes do treino, após o treino e 20 horas após o treino



Temp. Max: 31,8 °C
Temp. Min: 29,7 °C
Média: 30,8 °C
Mediana: 30,6 °C

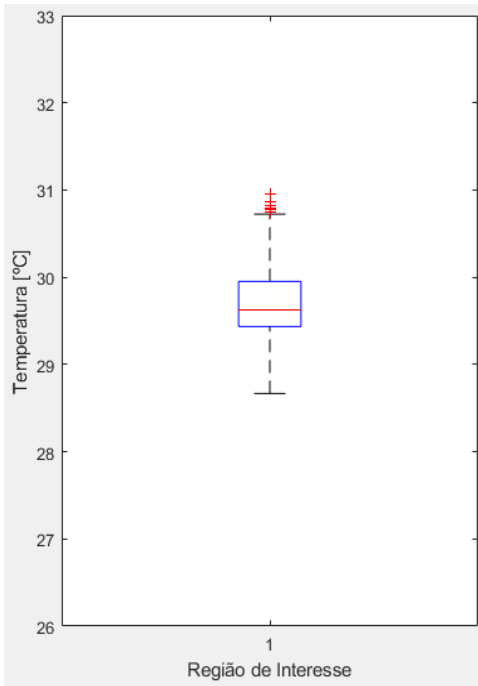


Temp. Max: 32,8 °C
Temp. Min: 27,3 °C
Média: 29,3 °C
Mediana: 29,1 °C

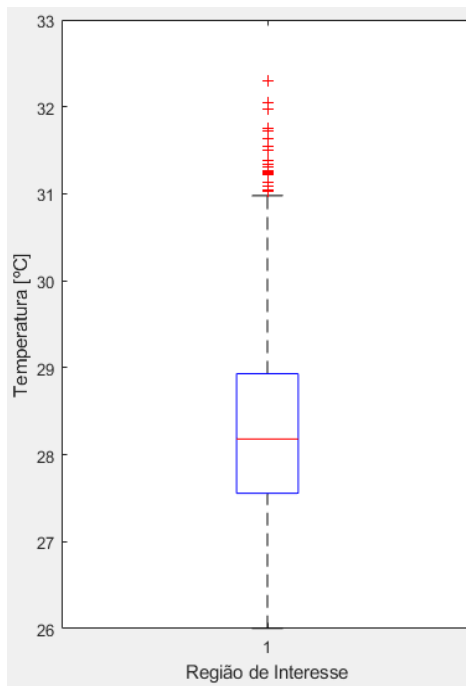


Temp. Max: 30,9 °C
Temp. Min: 27,4 °C
Média: 28,7 °C
Mediana: 28,7 °C

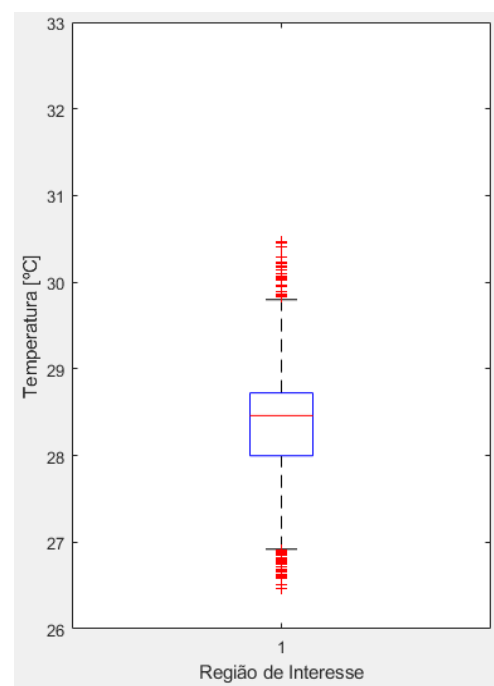
Face posterior (perna direita) – antes do treino, após o treino e 20 horas após o treino



Temp. Max: 30,9 °C
Temp. Min: 28,7 °C
Média: 29,7 °C
Mediana: 29,6 °C

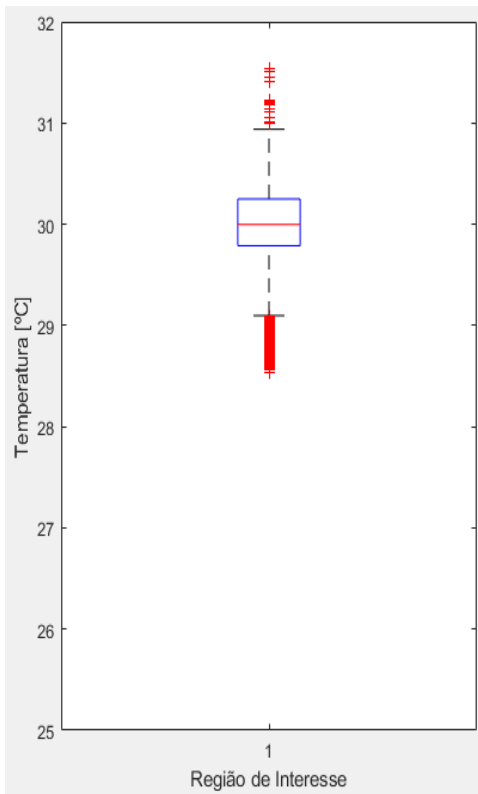


Temp. Max: 32,3 °C
Temp. Min: 26 °C
Média: 28,3 °C
Mediana: 28,1 °C

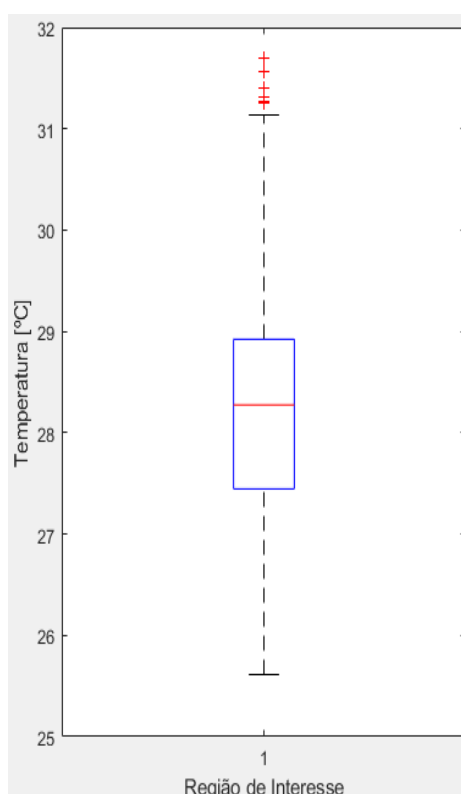


Temp. Max: 30,5 °C
Temp. Min: 26,5 °C
Média: 28,4 °C
Mediana: 28,5 °C

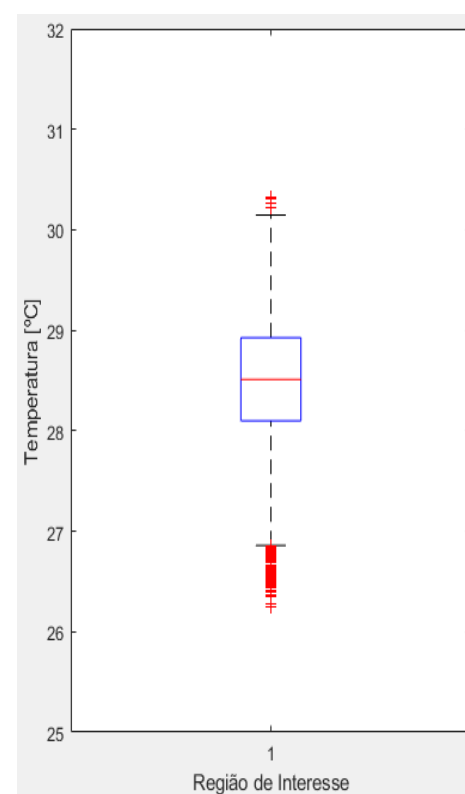
Face posterior (perna esquerda) – antes do treino, após o treino e 20 horas após o treino



Temp. Max: 31,5 °C
Temp. Min: 28,5 °C
Média: 29,9 °C
Mediana: 30 °C



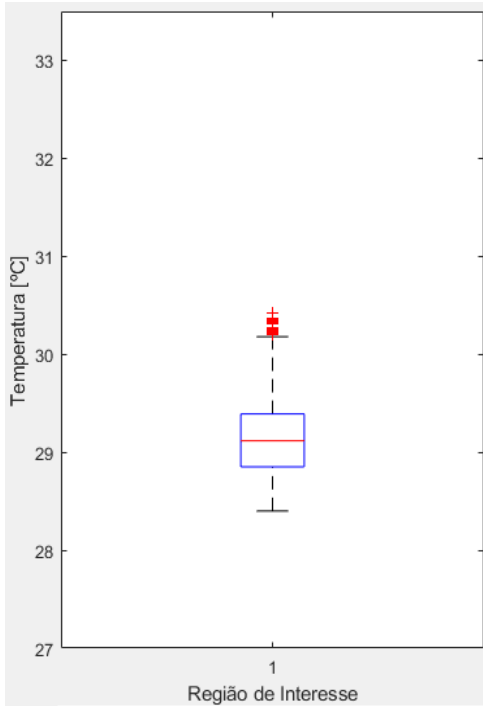
Temp. Max: 31,7 °C
Temp. Min: 25,6 °C
Média: 28,2 °C
Mediana: 28,2 °C



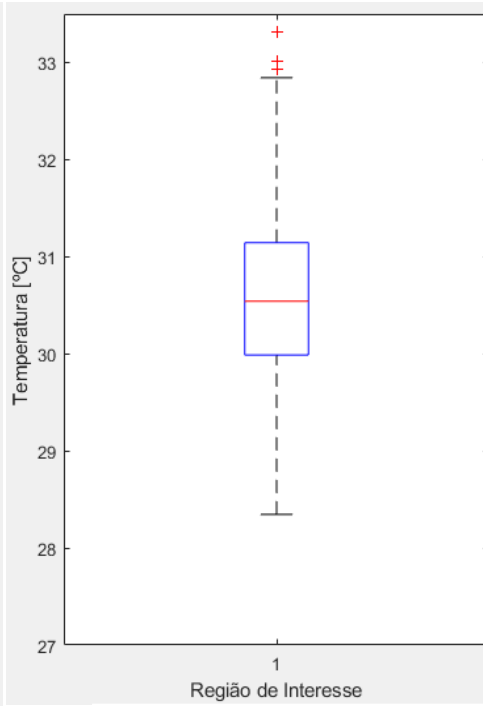
Temp. Max: 30,3 °C
Temp. Min: 26,3 °C
Média: 28,4 °C
Mediana: 28,5 °C

Atleta nº 2

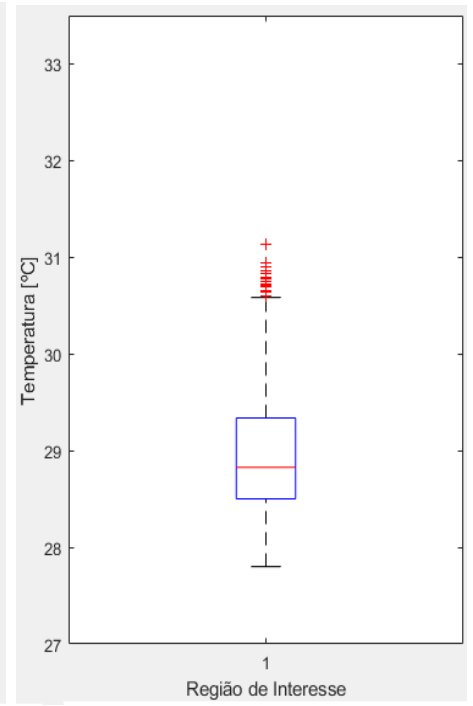
Face anterior (perna direita) – antes do treino, após o treino e 20 horas após o treino



Temp. Max: 30,4 °C
Temp. Min: 28,4 °C
Média: 29,1 °C ; **Mediana:** 29,1 °C
Desvio Padrão: 0,4

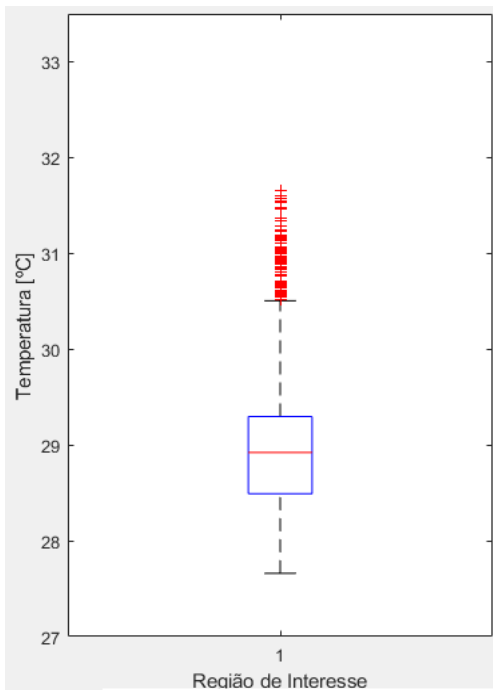


Temp. Max: 33,3 °C
Temp. Min: 28,4 °C
Média: 30,6 °C ; **Mediana:** 30,5 °C
Desvio Padrão: 0,9

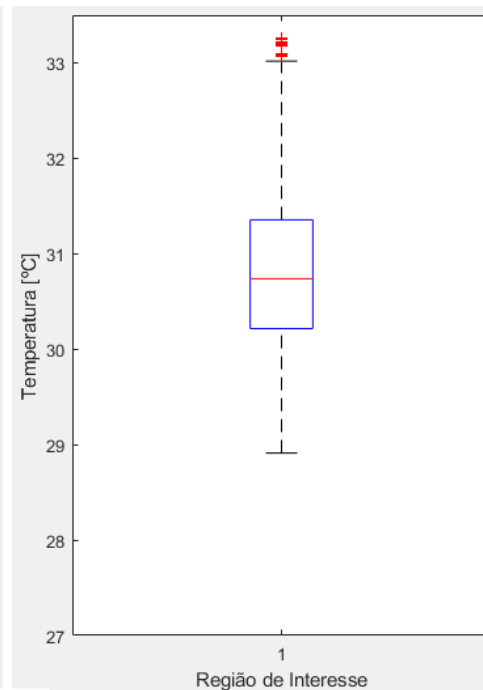


Temp. Max: 31,1 °C
Temp. Min: 27,8 °C
Média: 28,9 °C ; **Mediana:** 28,8 °C
Desvio Padrão: 0,6

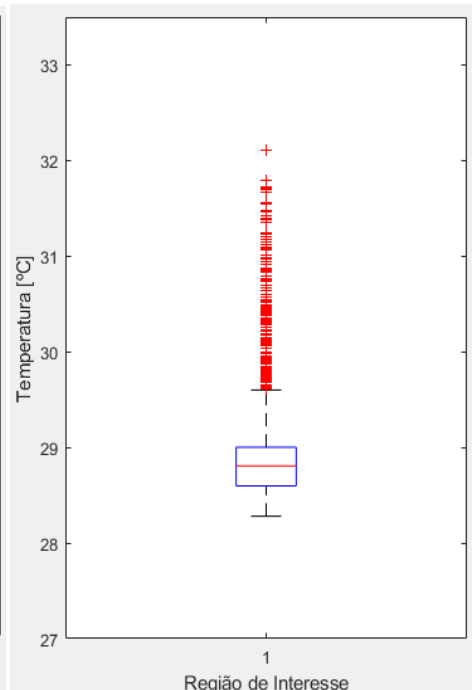
Face anterior (perna esquerda) – antes do treino, após o treino e 20 horas após o treino



Temp. Max: 31,7 °C
Temp. Min: 27,7 °C
Média: 28,9 °C ; **Mediana:** 28,9 °C
Desvio Padrão: 0,7

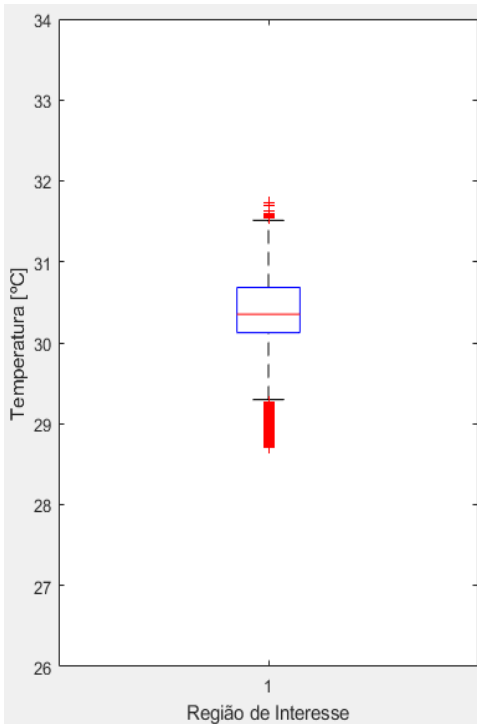


Temp. Max: 33,2 °C
Temp. Min: 28,9 °C
Média: 30,8 °C ; **Mediana:** 30,7 °C
Desvio Padrão: 0,8

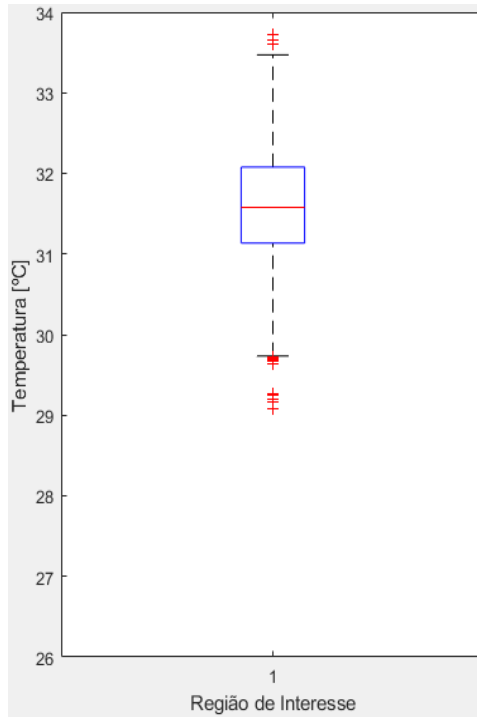


Temp. Max: 32,1 °C
Temp. Min: 28,3 °C
Média: 28,9 °C ; **Mediana:** 28,8 °C
Desvio Padrão: 0,5

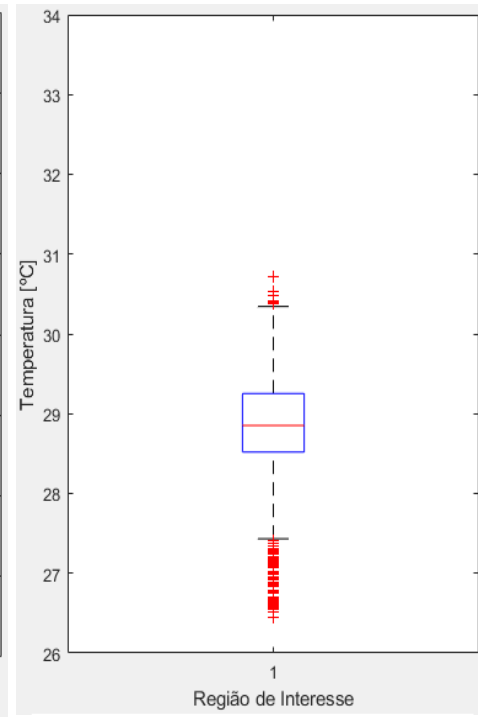
Face posterior (perna direita) – antes do treino, após o treino e 20 horas após o treino



Temp. Max: 31,7 °C
Temp. Min: 28,7 °C
Média: 30,3 °C ; **Mediana:** 30,4 °C
Desvio Padrão: 0,5

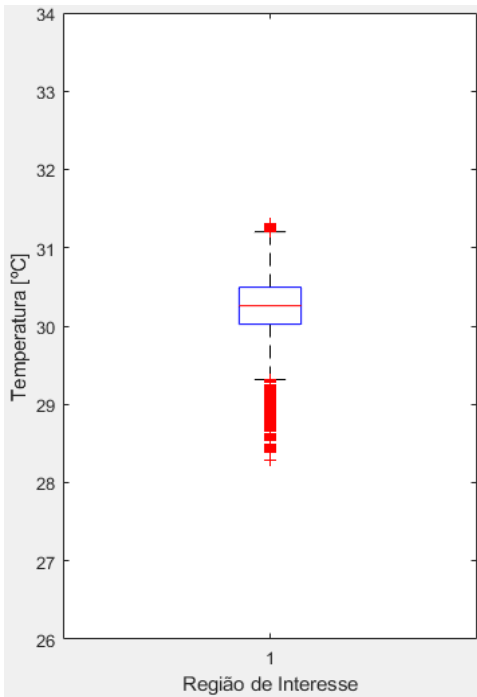


Temp. Max: 33,7 °C
Temp. Min: 29,1 °C
Média: 31,6 °C ; **Mediana:** 31,6 °C
Desvio Padrão: 0,7

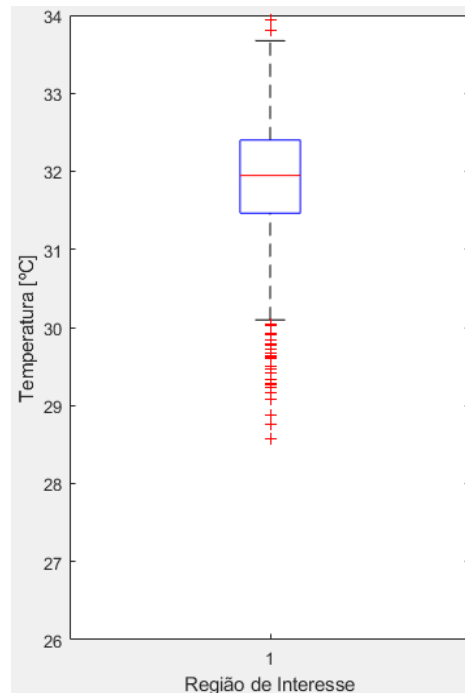


Temp. Max: 30,7 °C
Temp. Min: 26,5 °C
Média: 28,8 °C ; **Mediana:** 28,9 °C
Desvio Padrão: 0,7

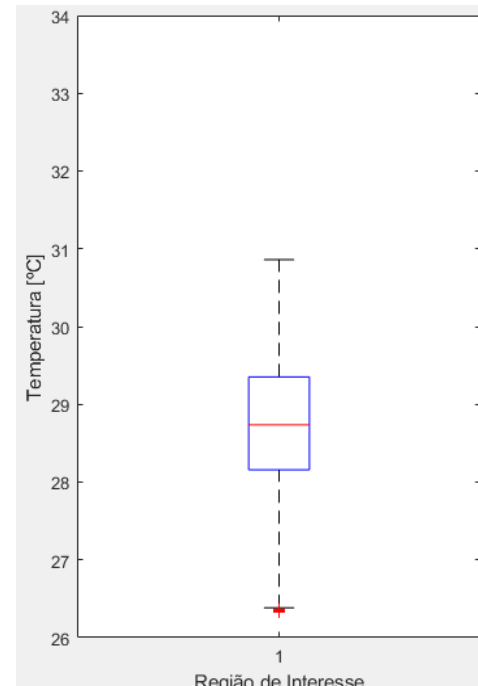
Face posterior (perna esquerda) – antes do treino, após o treino e 20 horas após o treino



Temp. Max: 31,3 °C
Temp. Min: 28,3 °C
Média: 30,1 °C ; **Mediana:** 30,3 °C
Desvio Padrão: 0,6



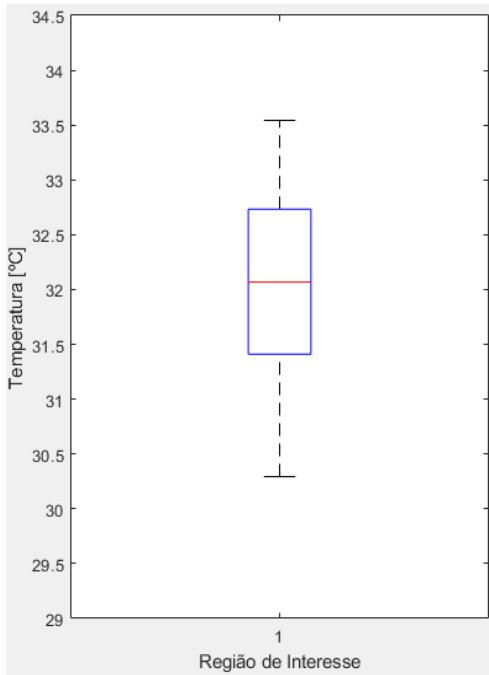
Temp. Max: 33,9 °C
Temp. Min: 28,6 °C
Média: 31,9 °C ; **Mediana:** 31,9 °C
Desvio Padrão: 0,7



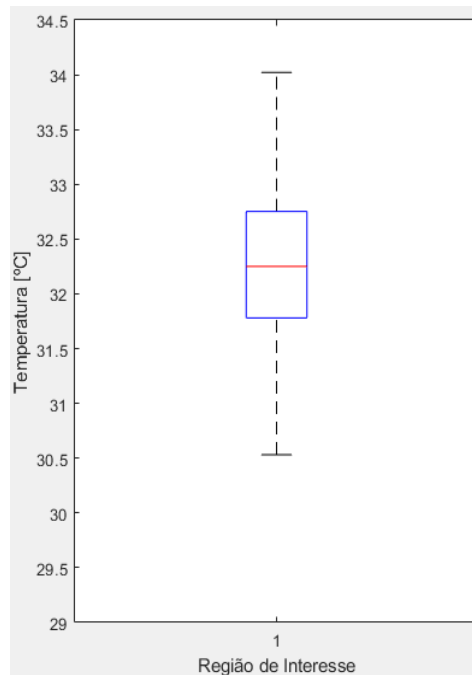
Temp. Max: 30,9 °C
Temp. Min: 26,3 °C
Média: 28,7 °C ; **Mediana:** 28,7 °C
Desvio Padrão: 0,9

Atleta nº 3

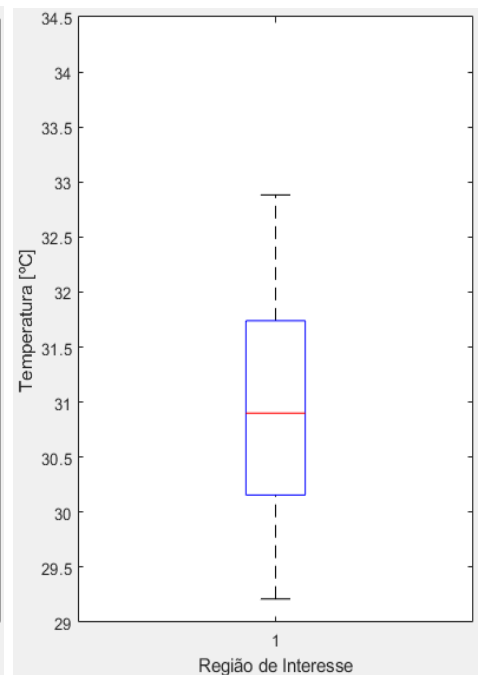
Face anterior (perna direita) – antes do treino, após o treino e 20 horas após o treino



Temp. Max: 33.5 °C
Temp. Min: 30.3 °C
Média: 32 °C ; **Mediana:** 32,1 °C
Desvio Padrão: 0,8

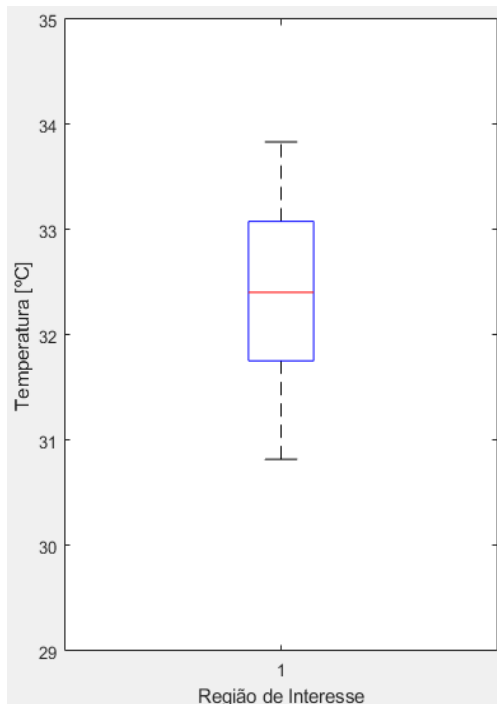


Temp. Max: 34 °C
Temp. Min: 30.5 °C
Média: 32.3 °C ; **Mediana:** 32.3 °C
Desvio Padrão: 0,6

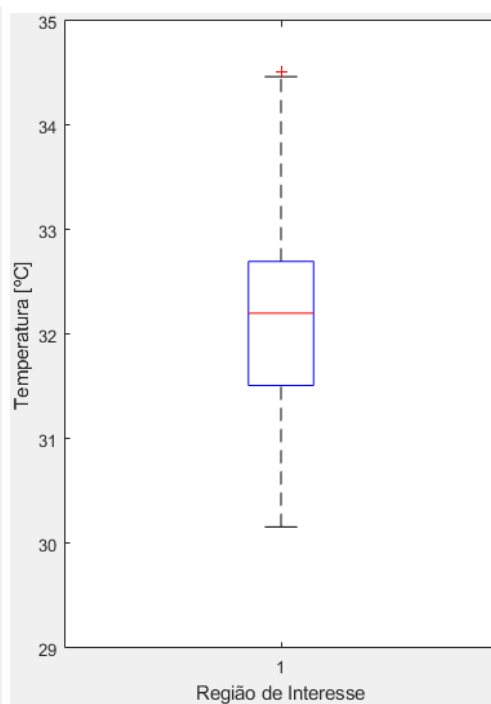


Temp. Max: 32.9 °C
Temp. Min: 29.2 °C
Média: 30,9 °C ; **Mediana:** 30,9 °C
Desvio Padrão: 0,9

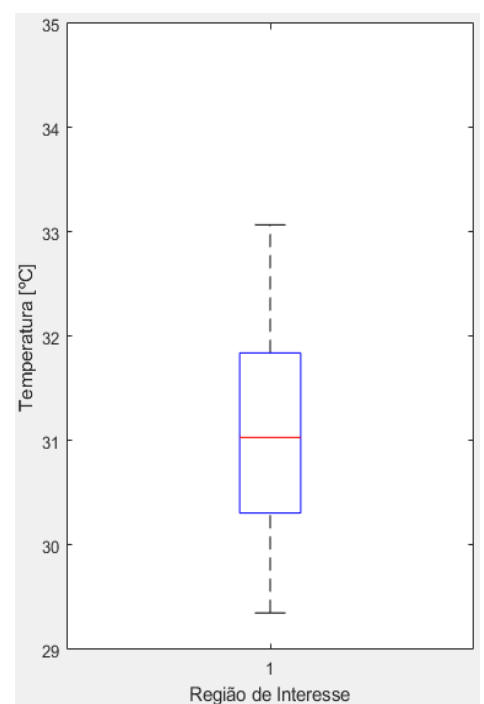
Face anterior (perna esquerda) – antes do treino, após o treino e 20 horas após o treino



Temp. Max: 33.8 °C
Temp. Min: 30.8 °C
Média: 32,4 °C ; **Mediana:** 32,4 °C
Desvio Padrão: 0,8

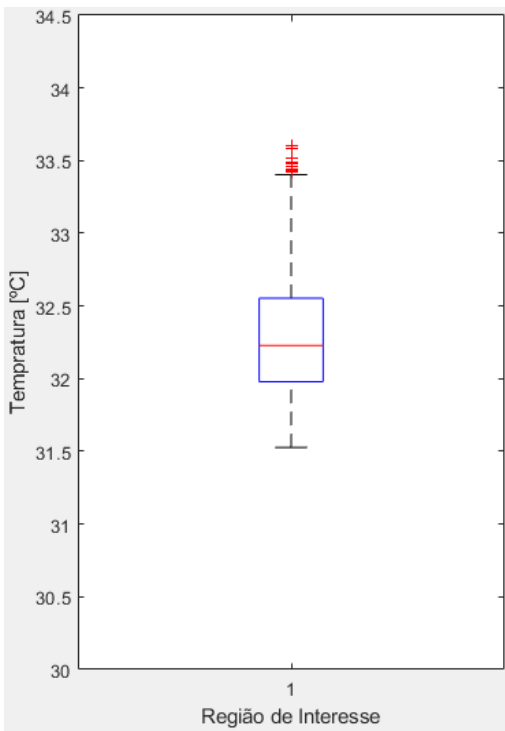


Temp. Max: 34.5 °C
Temp. Min: 30.2 °C
Média: 32,1 °C ; **Mediana:** 32,2 °C
Desvio Padrão: 0,8

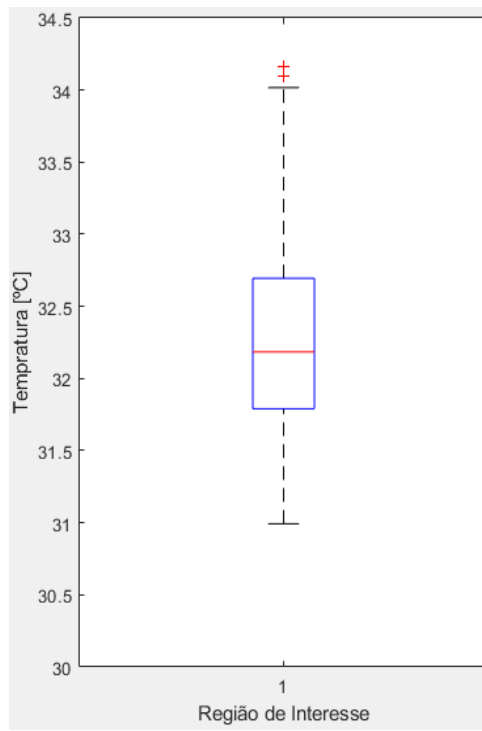


Temp. Max: 33.1 °C
Temp. Min: 29.4 °C
Média: 31.1 °C ; **Mediana:** 31 °C
Desvio Padrão: 0,9

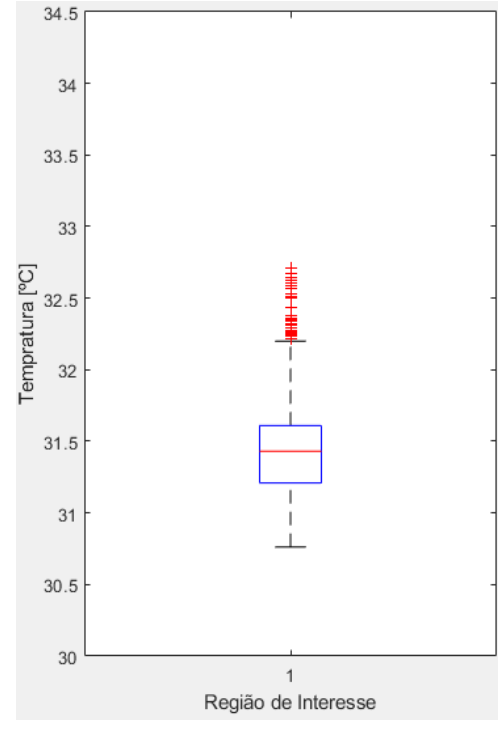
Face posterior (perna direita) – antes do treino, após o treino e 20 horas após o treino



Temp. Max: 33,6 °C
Temp. Min: 31,5 °C
Média: 32,3 °C ; **Mediana:** 32,2 °C
Desvio Padrão: 0,4

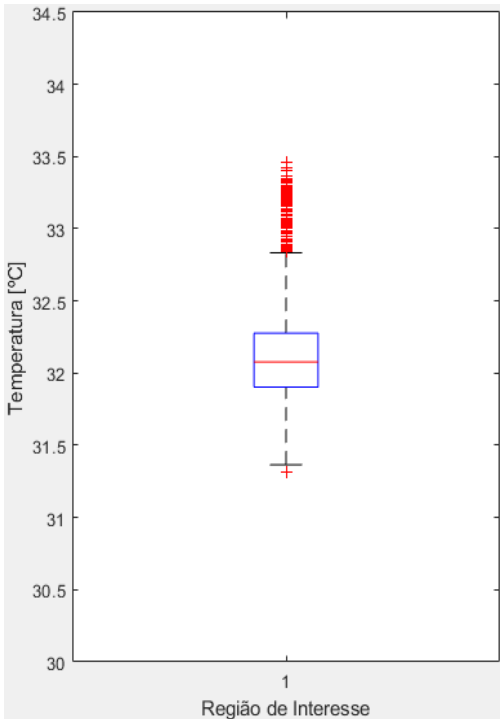


Temp. Max: 34,2 °C
Temp. Min: 30,9 °C
Média: 32,3 °C ; **Mediana:** 32,2 °C
Desvio Padrão: 0,6

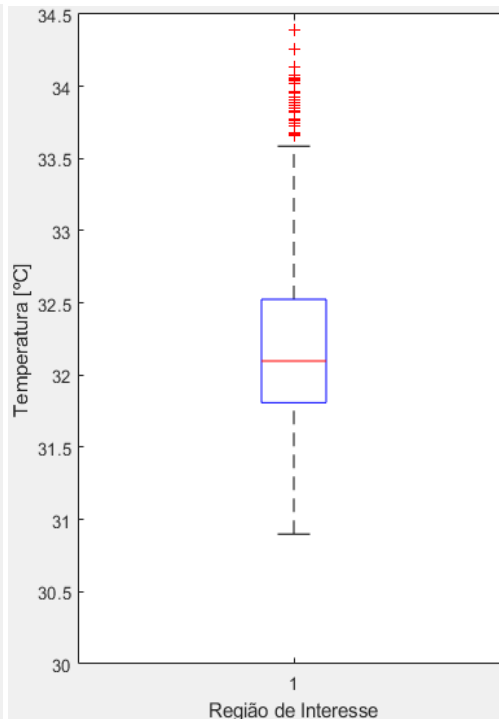


Temp. Max: 32,7 °C
Temp. Min: 30,8 °C
Média: 31,4 °C ; **Mediana:** 31,4 °C
Desvio Padrão: 0,3

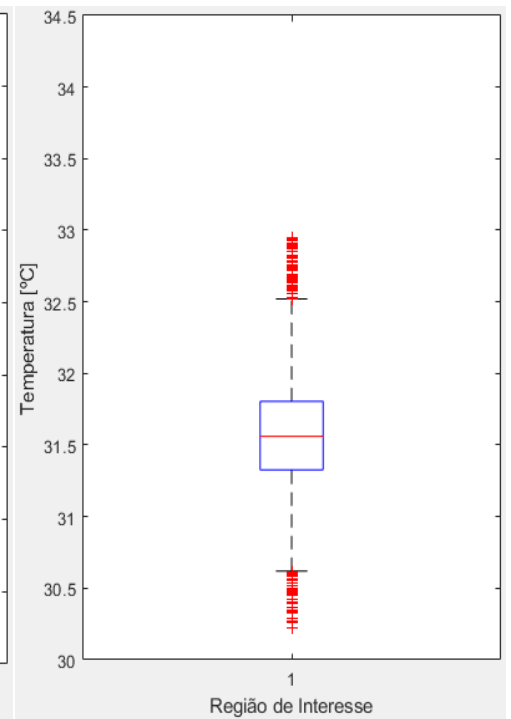
Face posterior (perna esquerda) – antes do treino, após o treino e 20 horas após o treino



Temp. Max: 33,5 °C
Temp. Min: 31,3 °C
Média: 32,1 °C ; **Mediana:** 32,1 °C
Desvio Padrão: 0,4



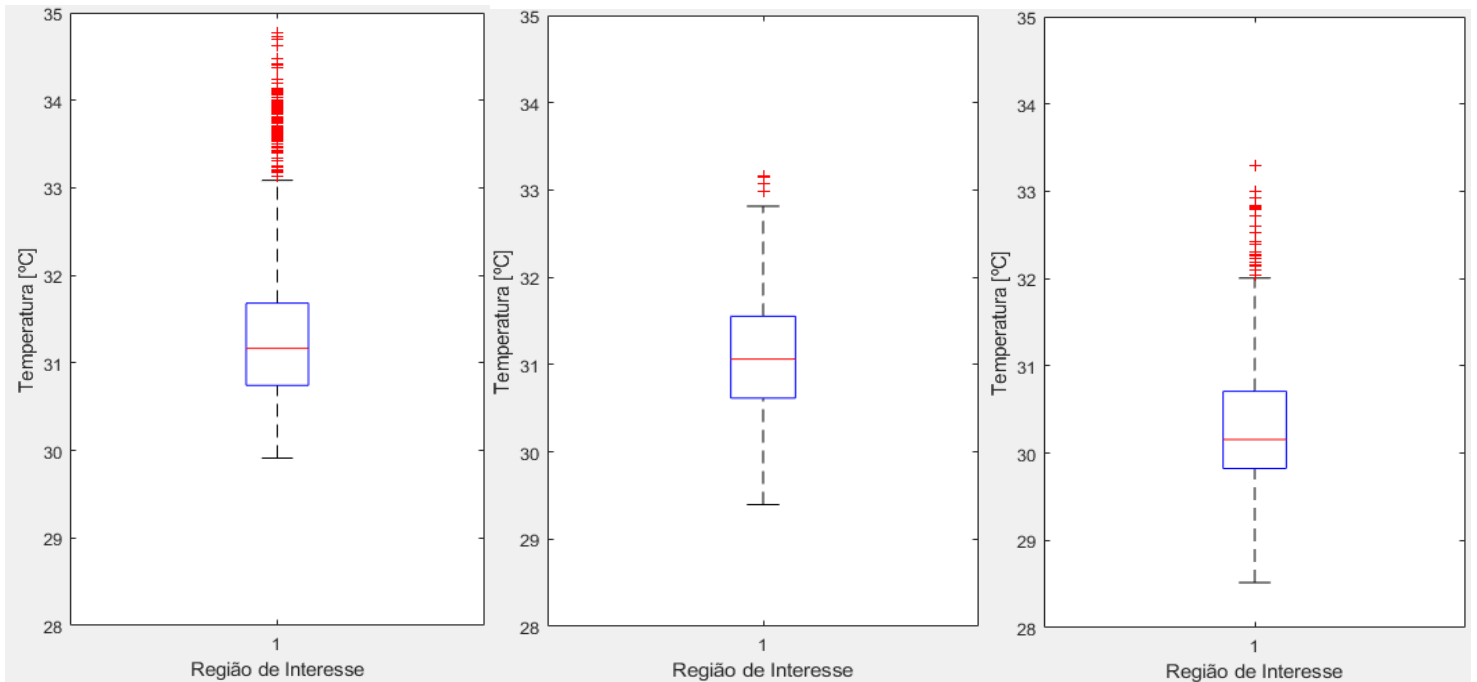
Temp. Max: 34,4 °C
Temp. Min: 30,9 °C
Média: 32,2 °C ; **Mediana:** 32,1 °C
Desvio Padrão: 0,6



Temp. Max: 32,9 °C
Temp. Min: 30,2 °C
Média: 31,6 °C ; **Mediana:** 31,6 °C
Desvio Padrão: 0,5

Atleta nº 4

Face anterior (perna direita) – antes do treino, após o treino e 20 horas após o treino

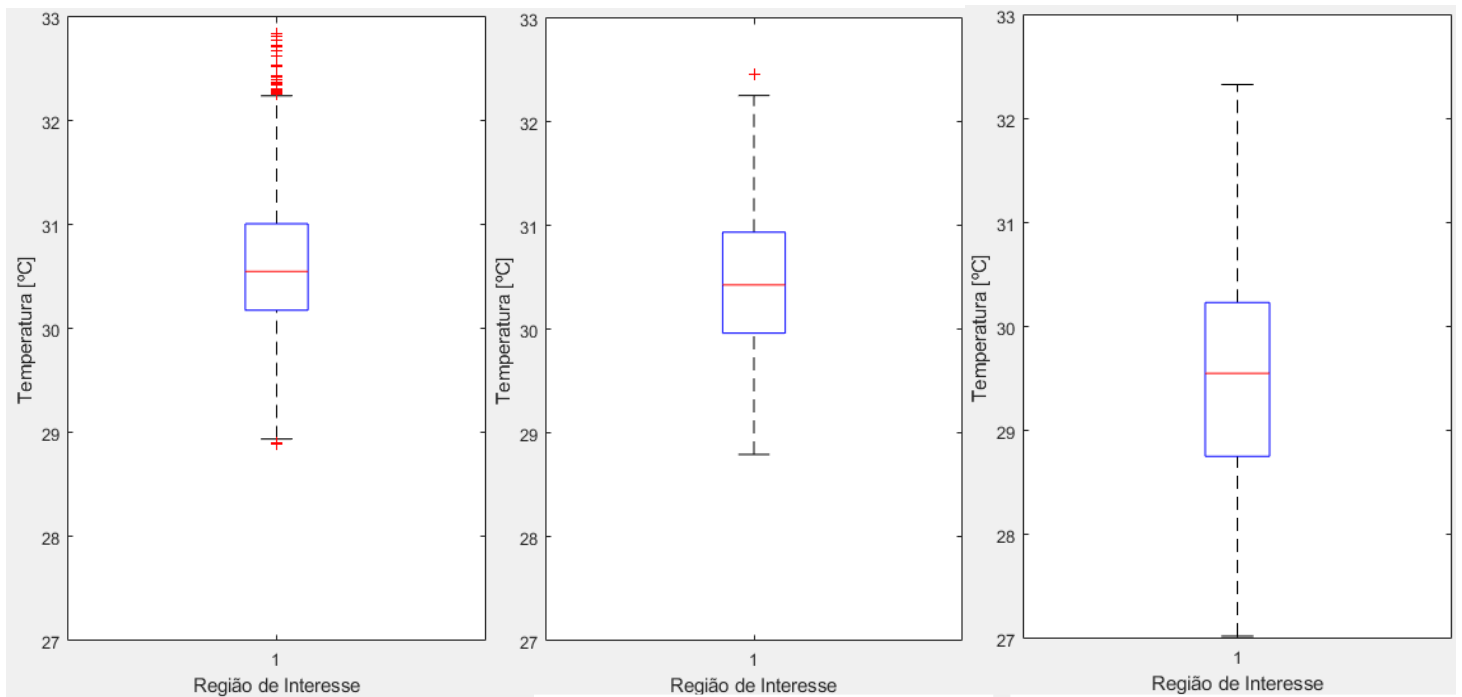


Temp. Max: 34.8 °C
Temp. Min: 29.9 °C
Média: 31.3 °C ; **Mediana:** 31.2 °C
Desvio Padrão: 0,9

Temp. Max: 33.2 °C
Temp. Min: 29.4 °C
Média: 31 °C ; **Mediana:** 31 °C
Desvio Padrão: 0,6

Temp. Max: 33.3 °C
Temp. Min: 28.5 °C
Média: 30.3 °C ; **Mediana:** 30.2 °C
Desvio Padrão: 0,7

Face anterior (perna esquerda) – antes do treino, após o treino e 20 horas após o treino

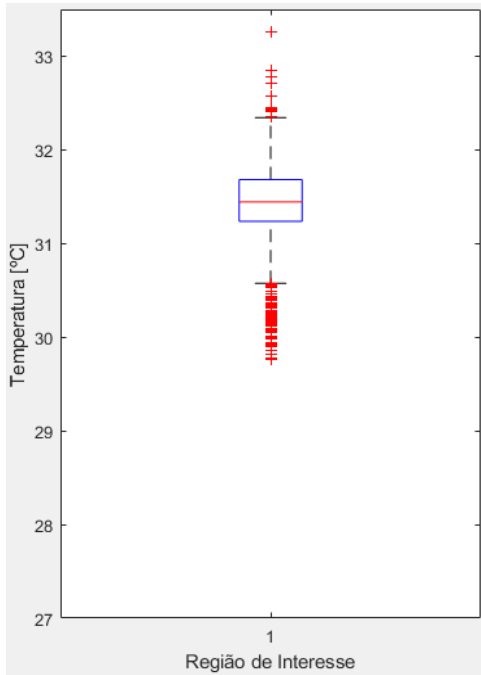


Temp. Max: 32.9 °C
Temp. Min: 28.9 °C
Média: 30.6 °C ; **Mediana:** 30.6 °C
Desvio Padrão: 0,7

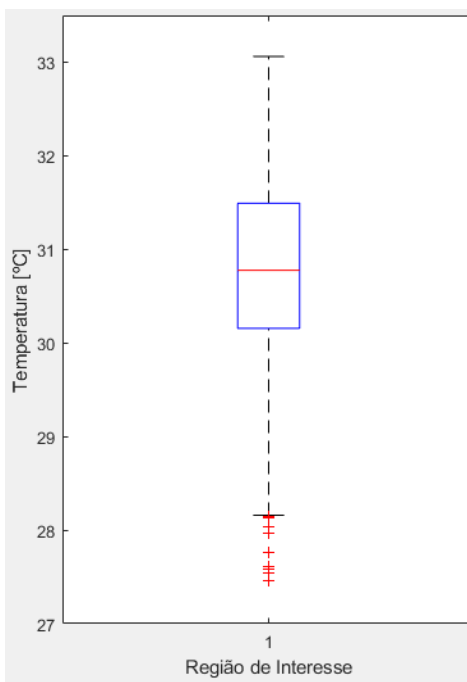
Temp. Max: 32.5 °C
Temp. Min: 28.8 °C
Média: 30.5 °C ; **Mediana:** 30.4 °C
Desvio Padrão: 0,7

Temp. Max: 32.3 °C
Temp. Min: 27 °C
Média: 29.5 °C ; **Mediana:** 29.6 °C
Desvio Padrão: 1

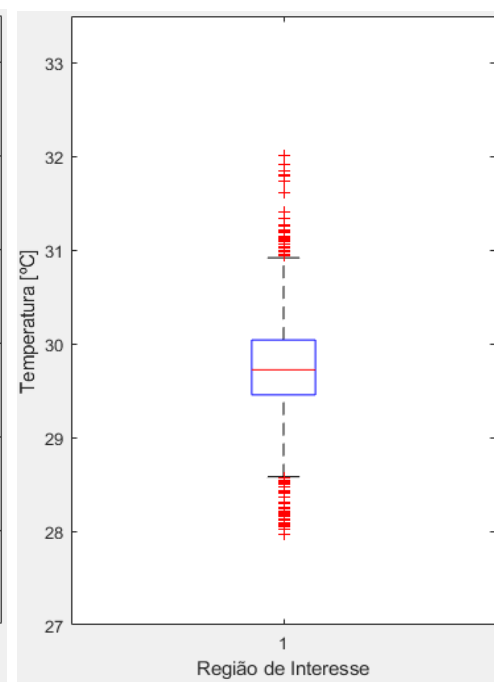
Face posterior (perna direita) – antes do treino, após o treino e 20 horas após o treino



Temp. Max: 33.3 °C
Temp. Min: 29.8 °C
Média: 31.4 °C ; **Mediana:** 31.4 °C
Desvio Padrão: 0.4

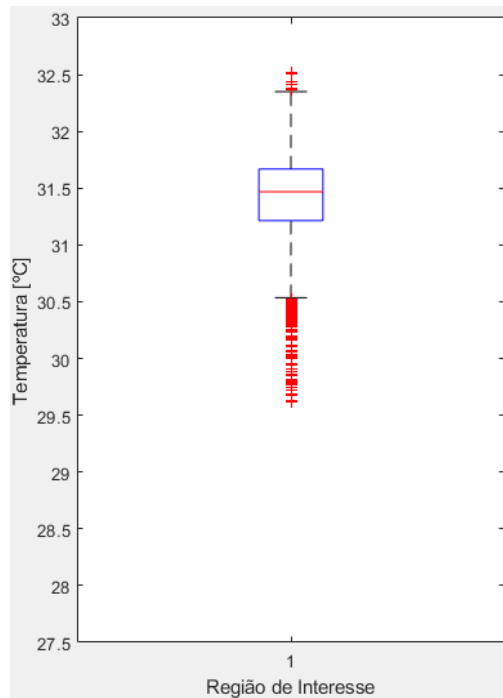


Temp. Max: 33 °C
Temp. Min: 27.5 °C
Média: 30.8 °C ; **Mediana:** 30.8 °C
Desvio Padrão: 1

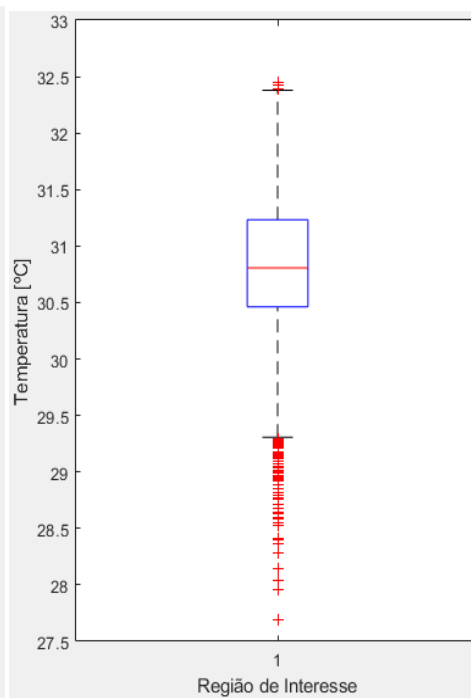


Temp. Max: 32 °C
Temp. Min: 27.9 °C
Média: 29.7 °C ; **Mediana:** 29.7 °C
Desvio Padrão: 0.5

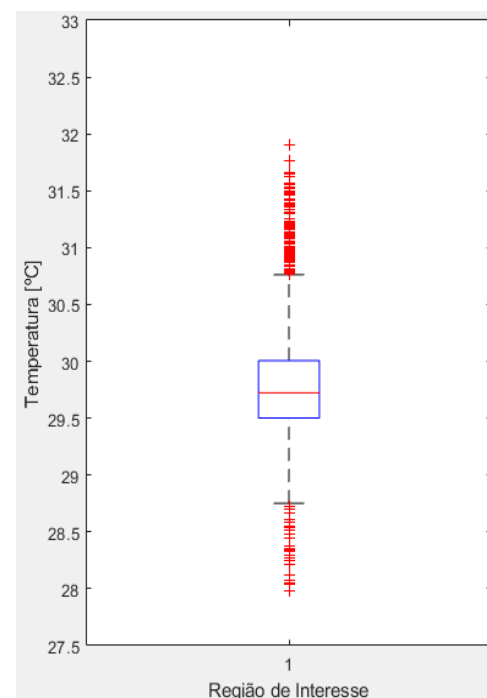
Face posterior (perna esquerda) – antes do treino, após o treino e 20 horas após o treino



Temp. Max: 32.5 °C
Temp. Min: 29.6 °C
Média: 31.4 °C ; **Mediana:** 31.5 °C
Desvio Padrão: 0.5



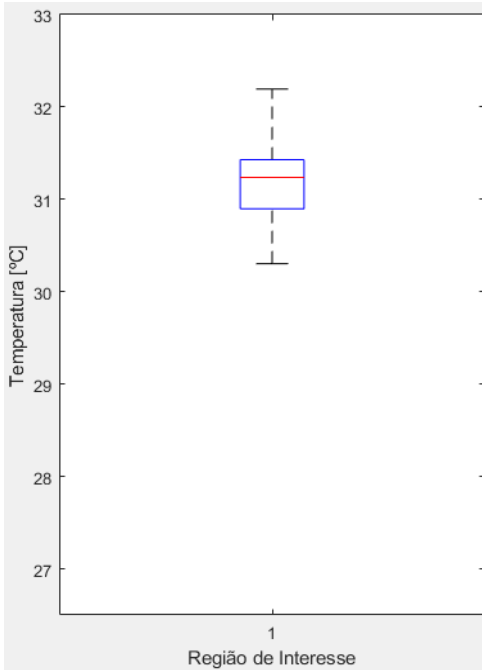
Temp. Max: 32.5 °C
Temp. Min: 27.7 °C
Média: 30.8 °C ; **Mediana:** 30.8 °C
Desvio Padrão: 0.7



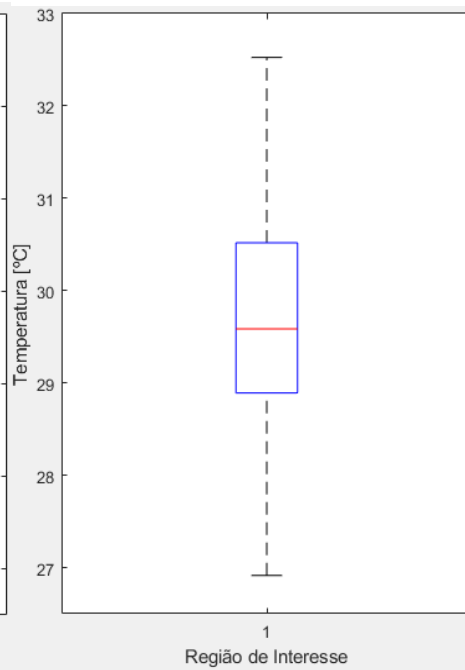
Temp. Max: 31.9 °C
Temp. Min: 27.9 °C
Média: 29.8 °C ; **Mediana:** 29.7 °C
Desvio Padrão: 0.5

Atleta nº 5

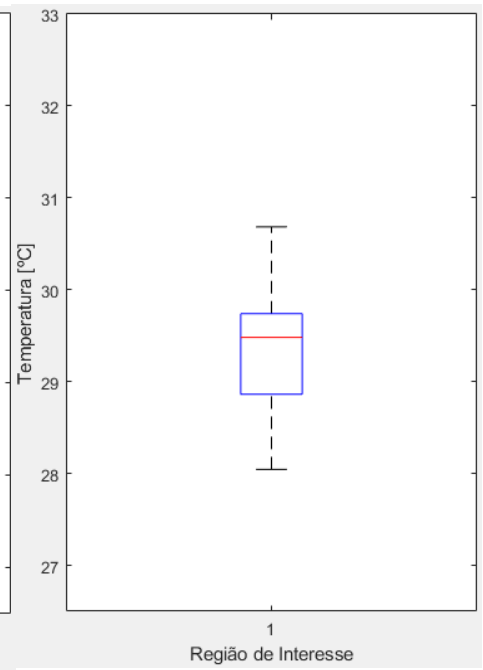
Face anterior (perna direita) – antes do treino, após o treino e 20 horas após o treino



Temp. Max: 32.2 °C
Temp. Min: 30.3 °C
Média: 31.2 °C ; **Mediana:** 31.2 °C
Desvio Padrão: 0.4

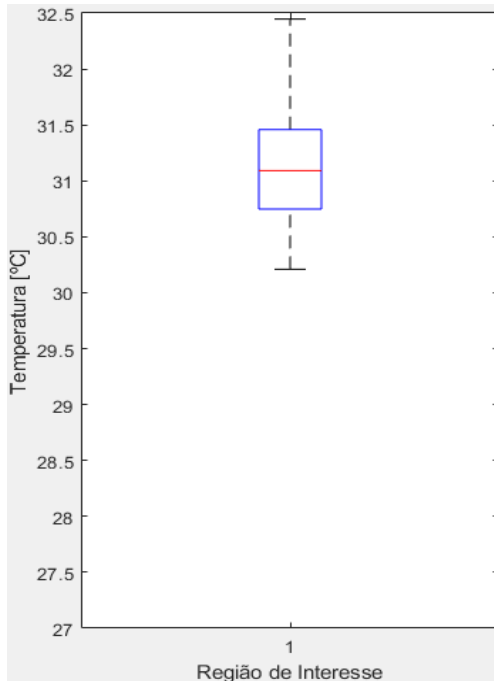


Temp. Max: 32.5 °C
Temp. Min: 26.9 °C
Média: 29.7 °C ; **Mediana:** 29.6 °C
Desvio Padrão: 1.1

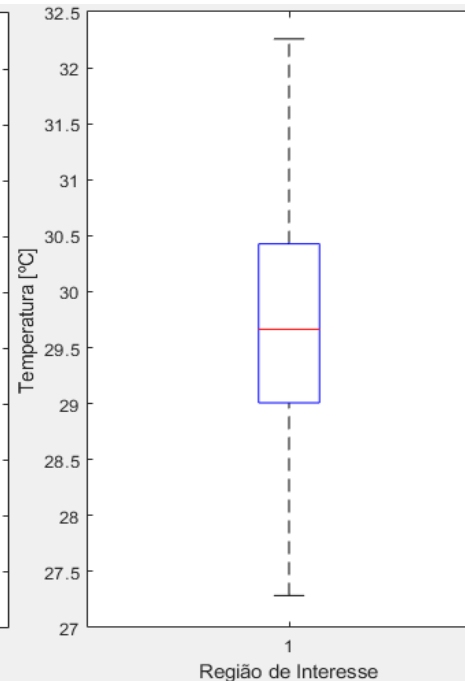


Temp. Max: 30.7 °C
Temp. Min: 28 °C
Média: 29.3 °C ; **Mediana:** 29.5 °C
Desvio Padrão: 0.6

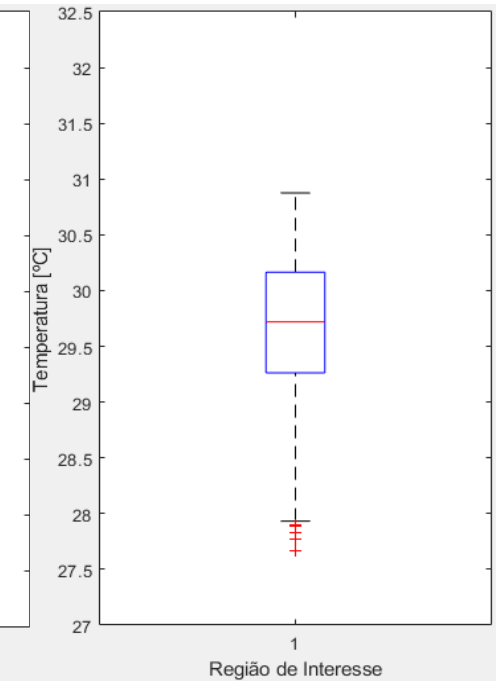
Face anterior (perna esquerda) – antes do treino, após o treino e 20 horas após o treino



Temp. Max: 32.5 °C
Temp. Min: 30.2 °C
Média: 31.1 °C ; **Mediana:** 31 °C
Desvio Padrão: 0.5

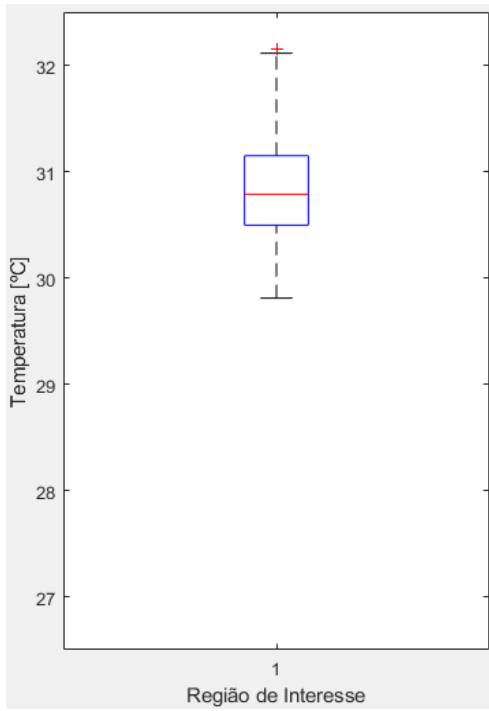


Temp. Max: 32.3 °C
Temp. Min: 27.3 °C
Média: 29.7 °C ; **Mediana:** 29.7 °C
Desvio Padrão: 0.9

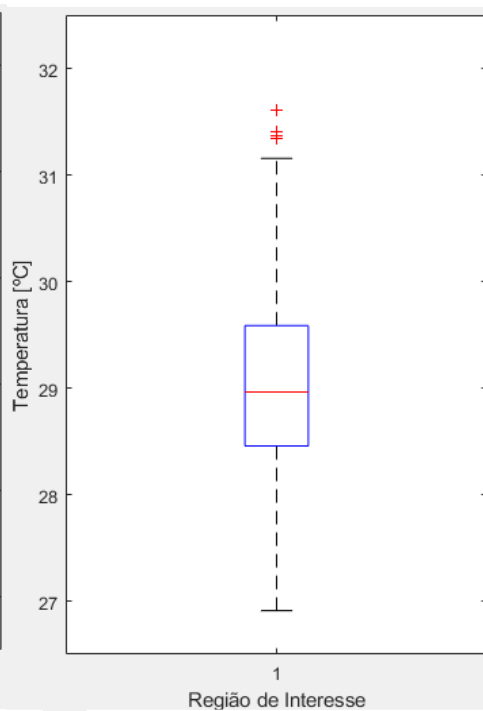


Temp. Max: 30.9 °C
Temp. Min: 27.7 °C
Média: 29.7 °C ; **Mediana:** 29.7 °C
Desvio Padrão: 0.6

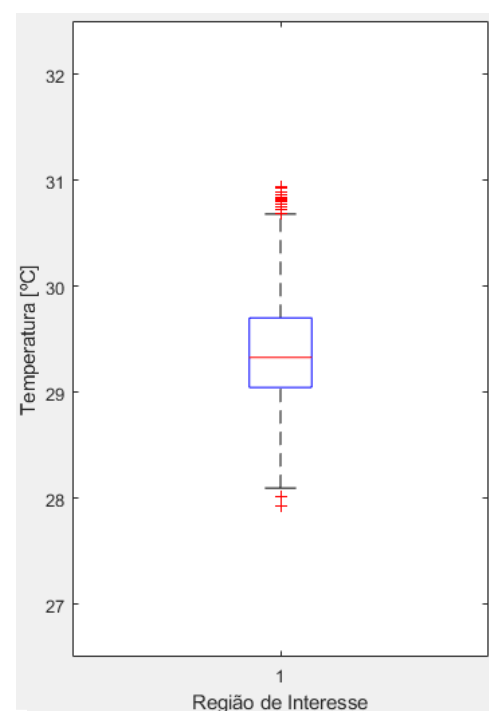
Face posterior (perna direita) – antes do treino, após o treino e 20 horas após o treino



Temp. Max: 32.1 °C
Temp. Min: 29.8 °C
Média: 30.9 °C ; **Mediana:** 30.8 °C
Desvio Padrão: 0.5

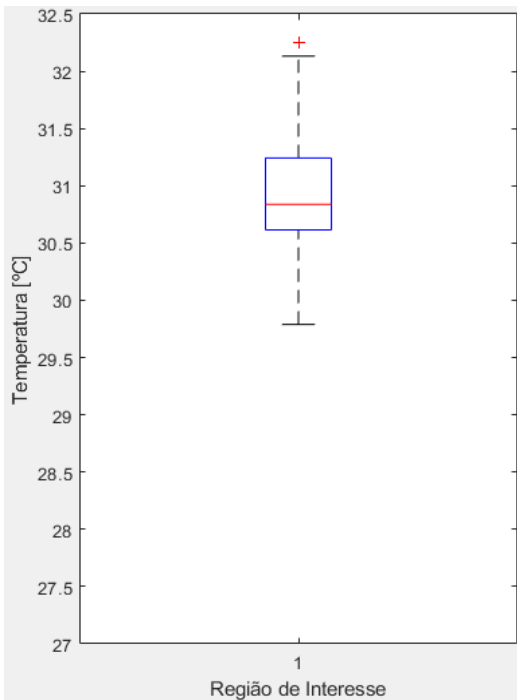


Temp. Max: 31.6 °C
Temp. Min: 26.9 °C
Média: 29 °C ; **Mediana:** 28.9 °C
Desvio Padrão: 0.8

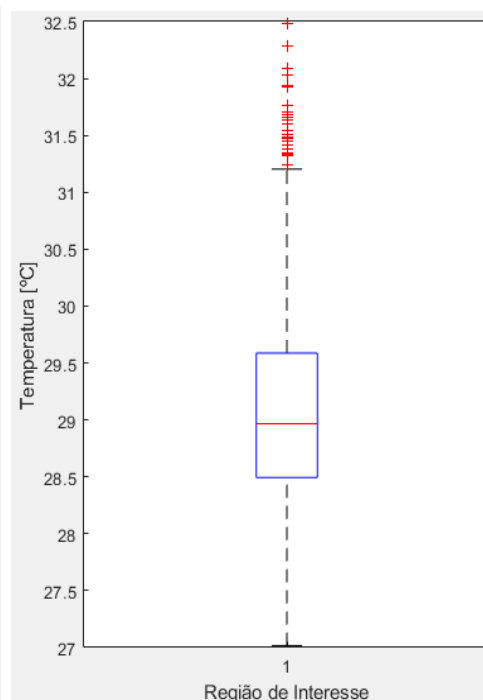


Temp. Max: 30.9 °C
Temp. Min: 27.9 °C
Média: 29.4 °C ; **Mediana:** 29.3 °C
Desvio Padrão: 0.5

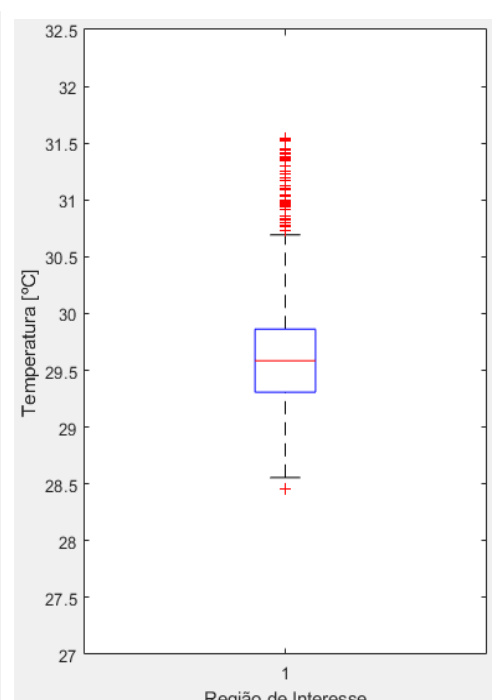
Face posterior (perna esquerda) – antes do treino, após o treino e 20 horas após o treino



Temp. Max: 32.3 °C
Temp. Min: 29.8 °C
Média: 30.9 °C ; **Mediana:** 30.8 °C
Desvio Padrão: 0.5



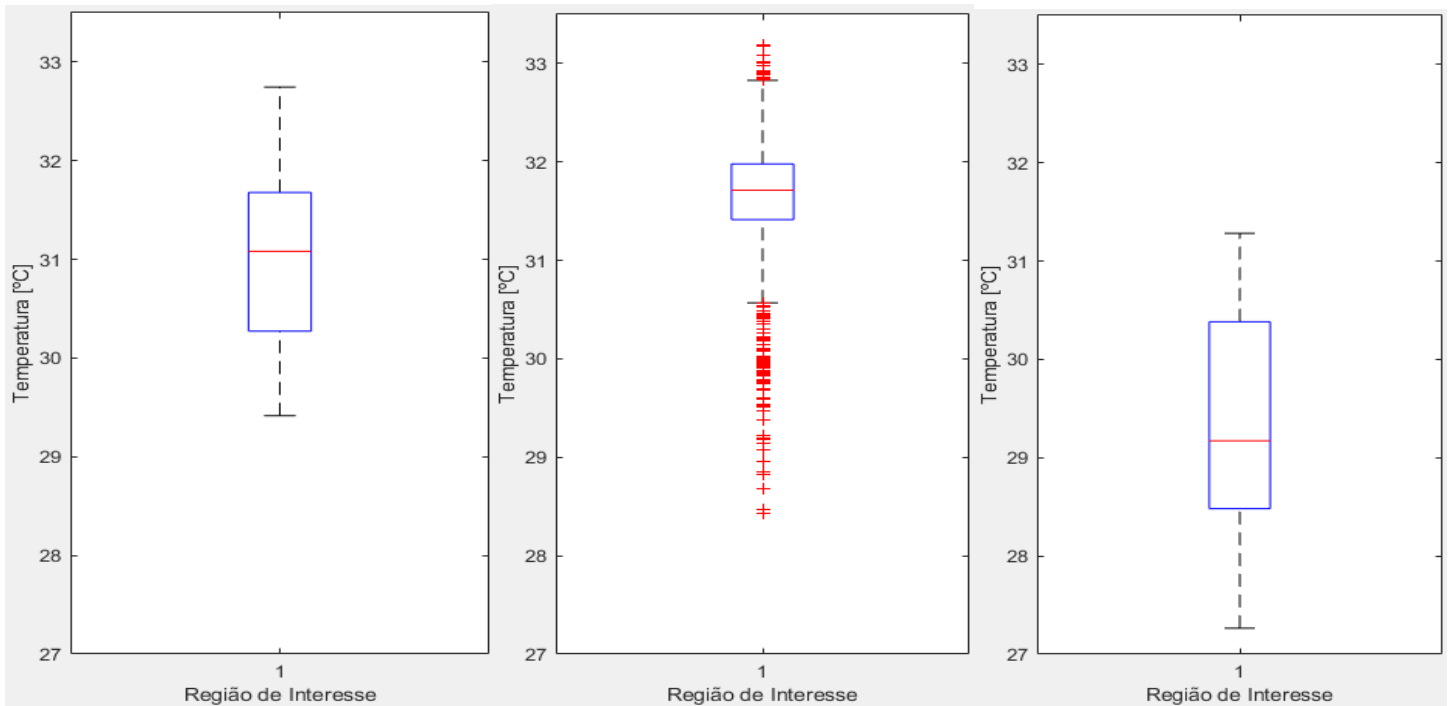
Temp. Max: 32.5 °C
Temp. Min: 27 °C
Média: 29.1 °C ; **Mediana:** 28.9 °C
Desvio Padrão: 0.9



Temp. Max: 32.3 °C
Temp. Min: 29.8 °C
Média: 30.9 °C ; **Mediana:** 30.8 °C
Desvio Padrão: 0.5

Atleta nº 6

Face anterior (perna direita) – antes do treino, após o treino e 20 horas após o treino

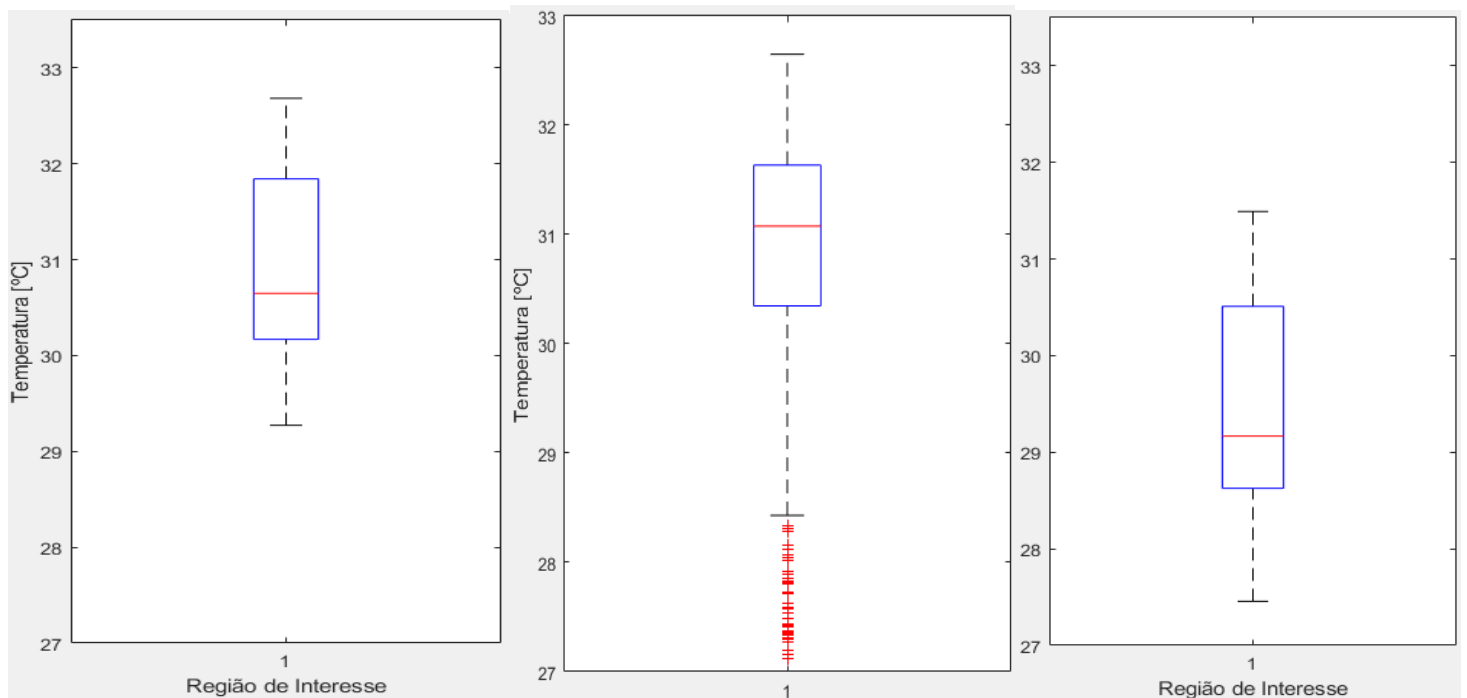


Temp. Max: 32.8 °C
Temp. Min: 29.4 °C
Média: 31 °C ; **Mediana:** 31 °C
Desvio Padrão: 0.8

Temp. Max: 33.2 °C
Temp. Min: 28.4 °C
Média: 31.7 °C ; **Mediana:** 31.7 °C
Desvio Padrão: 0.6

Temp. Max: 31.3 °C
Temp. Min: 27.3 °C
Média: 29.4 °C ; **Mediana:** 29.2 °C
Desvio Padrão: 1

Face anterior (perna esquerda) – antes do treino, após o treino e 20 horas após o treino

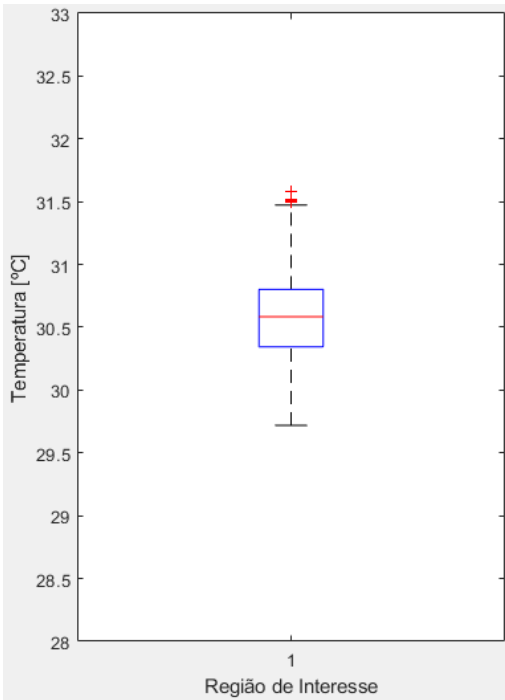


Temp. Max: 32.7 °C
Temp. Min: 29.3 °C
Média: 30.9 °C ; **Mediana:** 30.7 °C
Desvio Padrão: 0.9

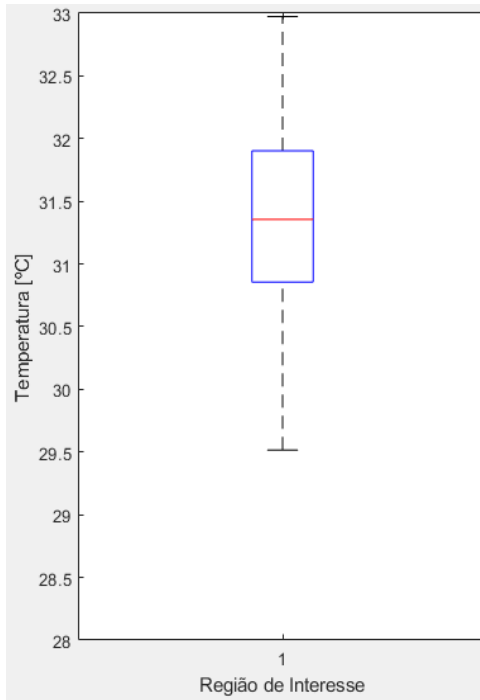
Temp. Max: 33.5 °C
Temp. Min: 29.9 °C
Média: 31.9 °C ; **Mediana:** 31.9 °C
Desvio Padrão: 0.6

Temp. Max: 31.5 °C
Temp. Min: 27.5 °C
Média: 29.5 °C ; **Mediana:** 29.1 °C
Desvio Padrão: 1

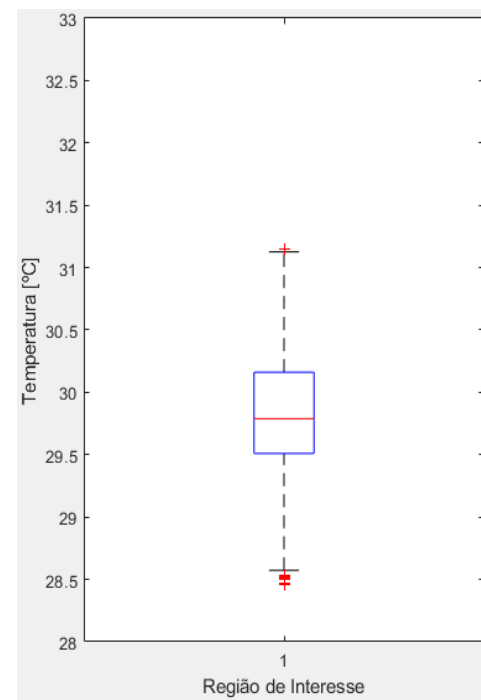
Face posterior (perna direita) – antes do treino, após o treino e 20 horas após o treino



Temp. Max: 31.6 °C
Temp. Min: 29.7 °C
Média: 30.6 °C ; **Mediana:** 30.6 °C
Desvio Padrão: 0.3

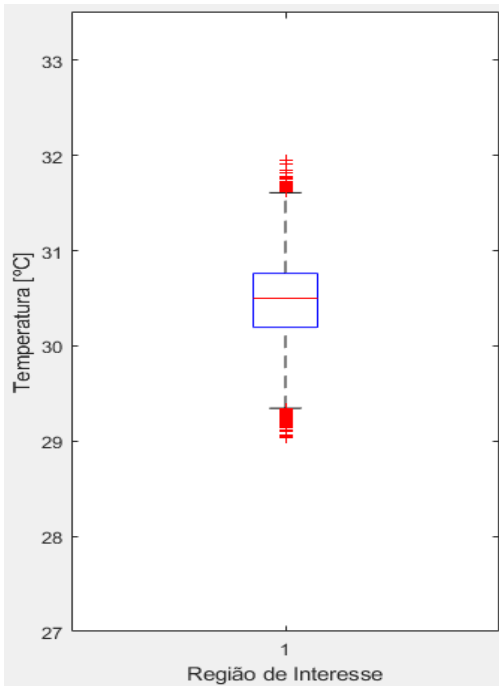


Temp. Max: 32.9 °C
Temp. Min: 29.5 °C
Média: 31.3 °C ; **Mediana:** 31.4 °C
Desvio Padrão: 0.7

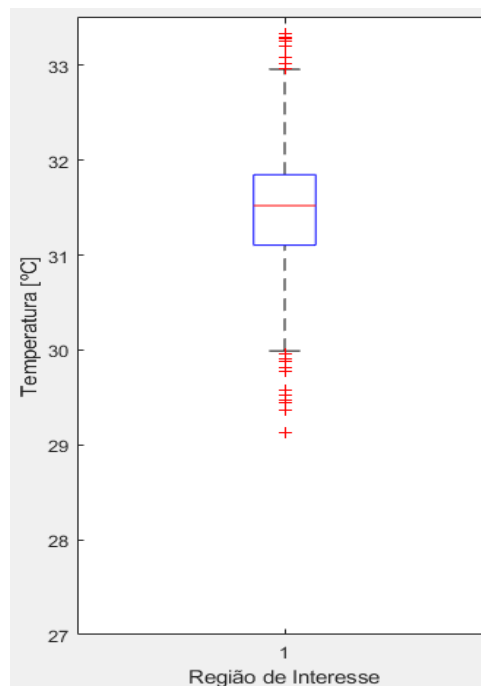


Temp. Max: 31.1 °C
Temp. Min: 28.5 °C
Média: 29.8 °C ; **Mediana:** 29.8 °C
Desvio Padrão: 0.5

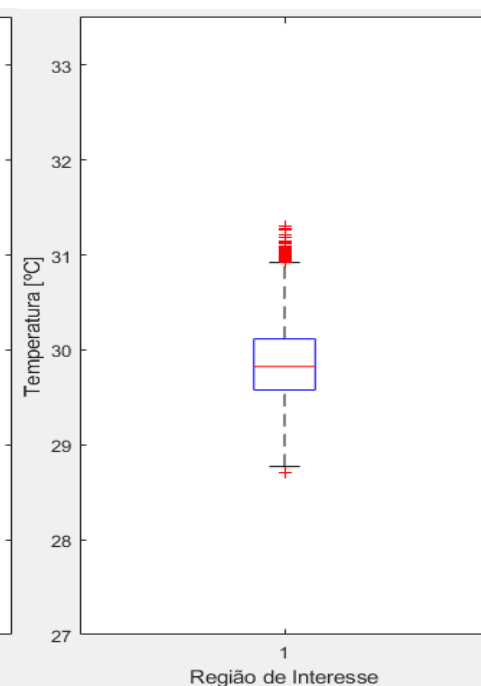
Face posterior (perna esquerda) – antes do treino, após o treino e 20 horas após o treino



Temp. Max: 31.9 °C
Temp. Min: 29 °C
Média: 30.5 °C ; **Mediana:** 30.5 °C
Desvio Padrão: 0.6



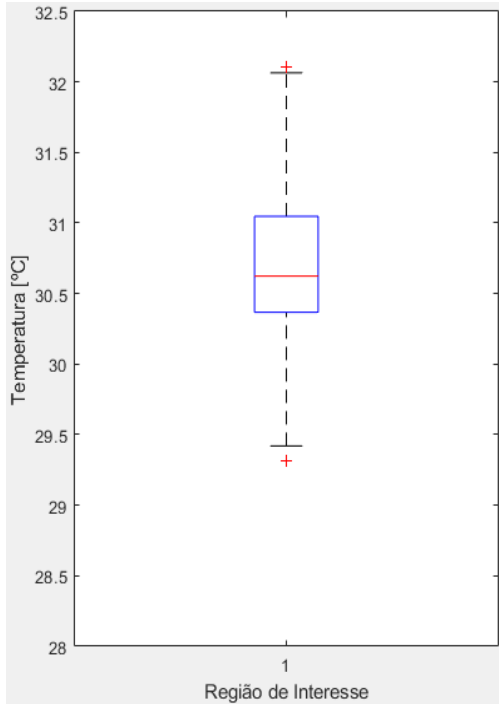
Temp. Max: 33.3 °C
Temp. Min: 29.1 °C
Média: 31.5 °C ; **Mediana:** 31.5 °C
Desvio Padrão: 0.6



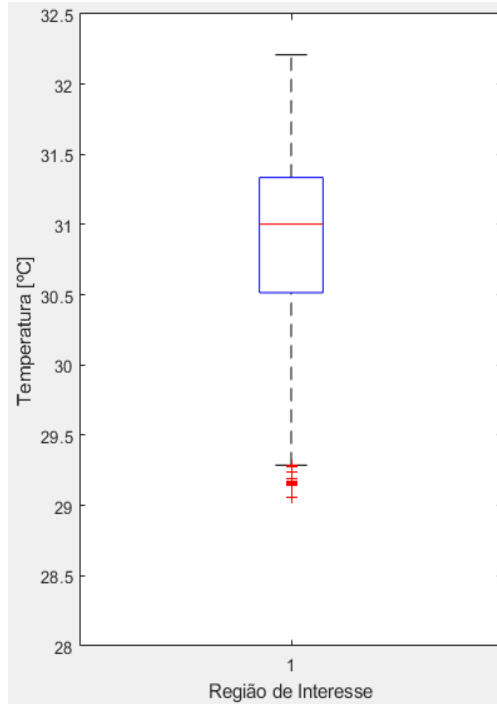
Temp. Max: 31.3 °C
Temp. Min: 28.7 °C
Média: 29.8 °C ; **Mediana:** 29.8 °C
Desvio Padrão: 0.3

Atleta nº 7

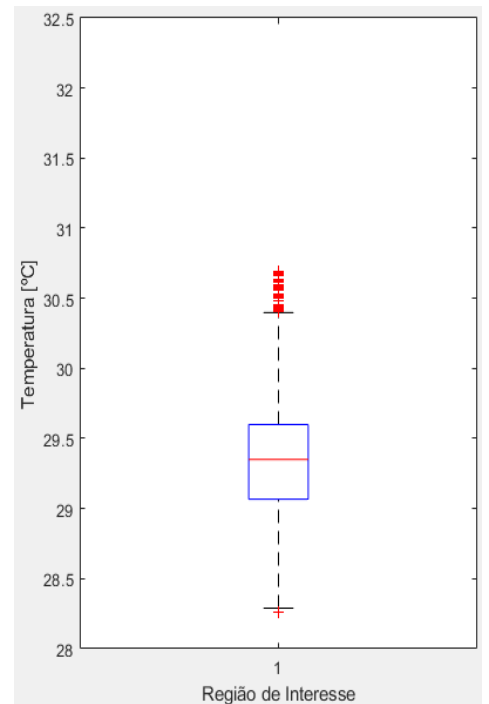
Face anterior (perna direita) – antes do treino, após o treino e 20 horas após o treino



Temp. Max: 32.1 °C
Temp. Min: 29.3 °C
Média: 30.7 °C ; **Mediana:** 30.6 °C
Desvio Padrão: 0.5

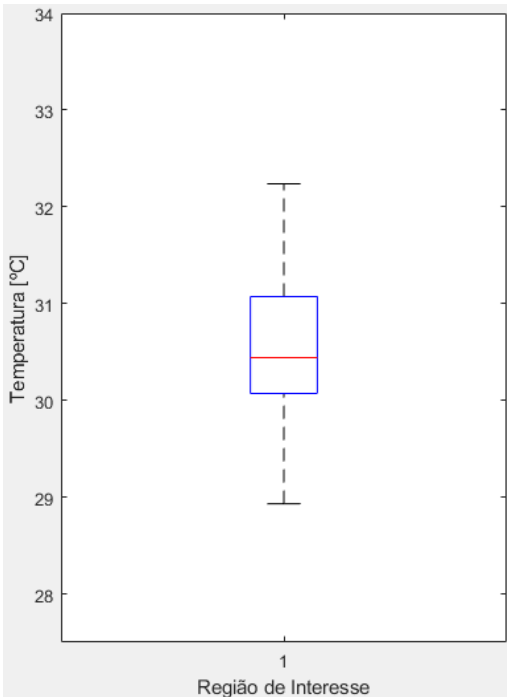


Temp. Max: 32.2 °C
Temp. Min: 29 °C
Média: 30.9 °C ; **Mediana:** 31 °C
Desvio Padrão: 0.6

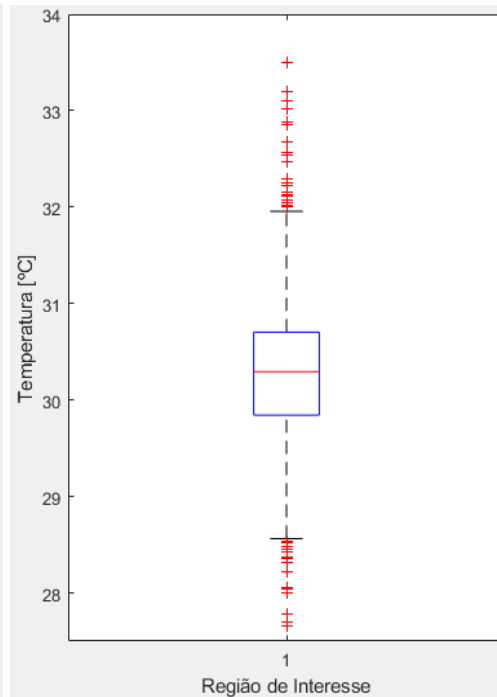


Temp. Max: 30.7 °C
Temp. Min: 28.3 °C
Média: 29.4 °C ; **Mediana:** 29.4 °C
Desvio Padrão: 0.5

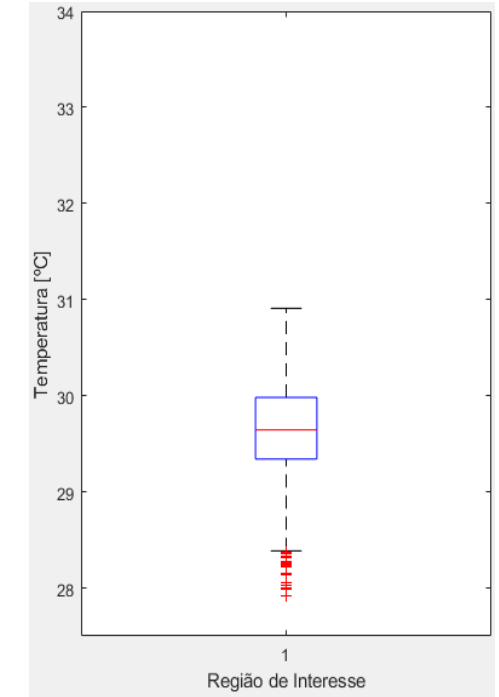
Face anterior (perna esquerda) – antes do treino, após o treino e 20 horas após o treino



Temp. Max: 32.2 °C
Temp. Min: 28.9 °C
Média: 30.6 °C ; **Mediana:** 30.4 °C
Desvio Padrão: 0.7

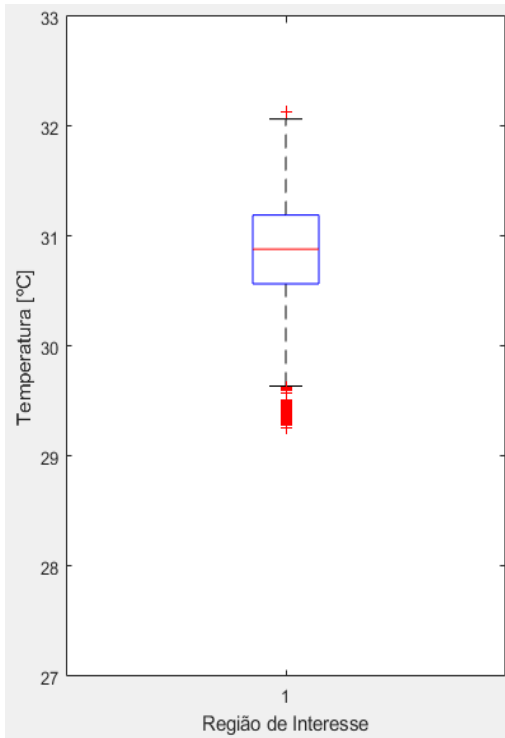


Temp. Max: 33.5 °C
Temp. Min: 27.7 °C
Média: 30.3 °C ; **Mediana:** 30.3 °C
Desvio Padrão: 0.7

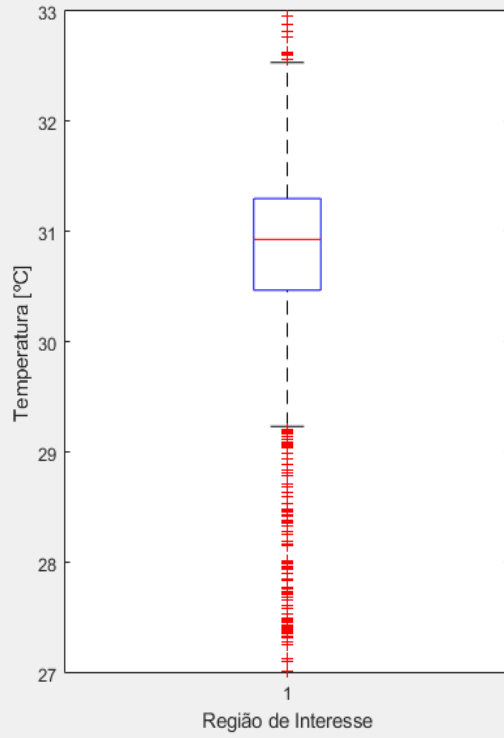


Temp. Max: 30.9 °C
Temp. Min: 27.9 °C
Média: 29.7 °C ; **Mediana:** 29.6 °C
Desvio Padrão: 0.5

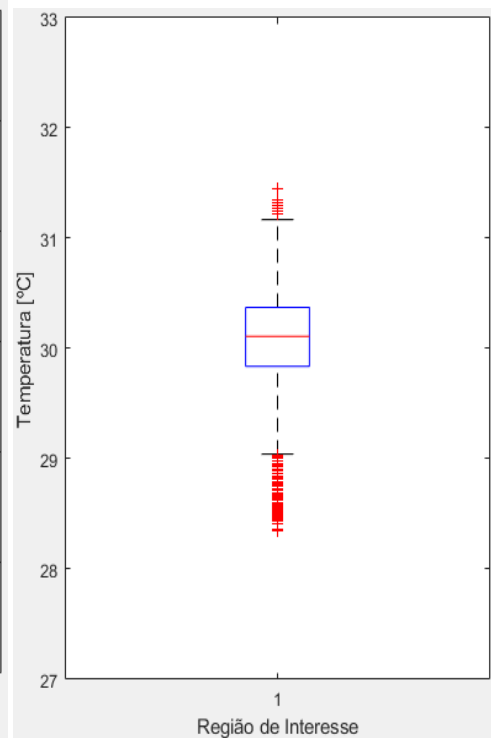
Face posterior (perna direita) – antes do treino, após o treino e 20 horas após o treino



Temp. Max: 32.1 °C
Temp. Min: 29.3 °C
Média: 30.9 °C ; **Mediana:** 30.9 °C
Desvio Padrão: 0.5

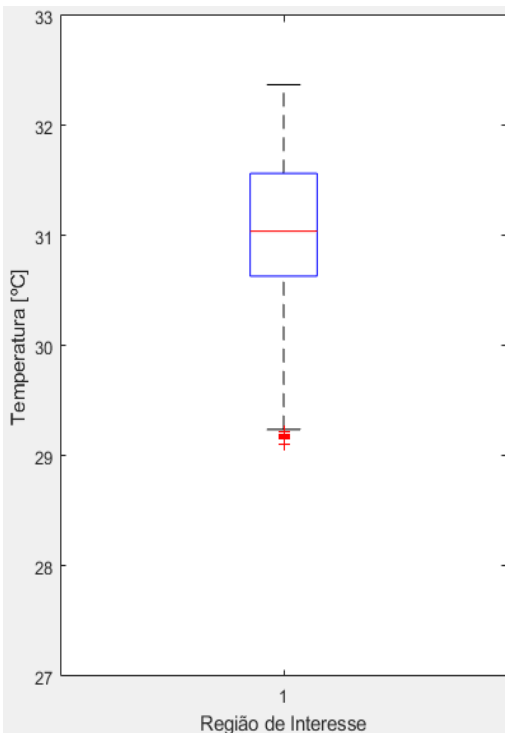


Temp. Max: 32.9 °C
Temp. Min: 27 °C
Média: 30.7 °C ; **Mediana:** 30.9 °C
Desvio Padrão: 1

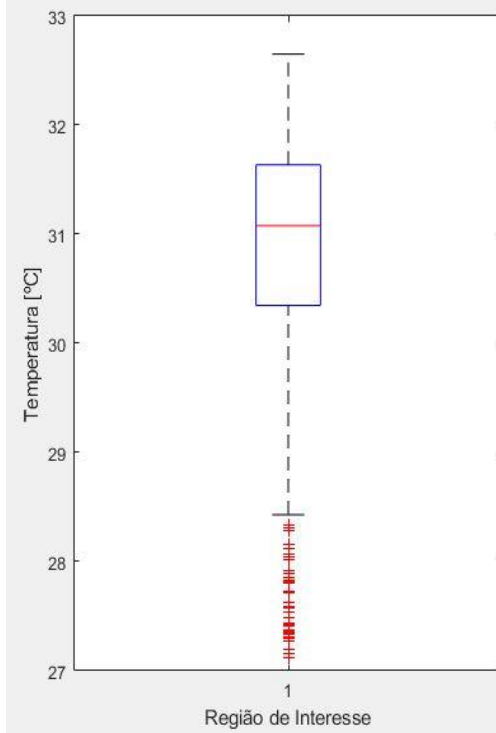


Temp. Max: 31.4 °C
Temp. Min: 28.4 °C
Média: 30 °C ; **Mediana:** 30.1 °C
Desvio Padrão: 0.5

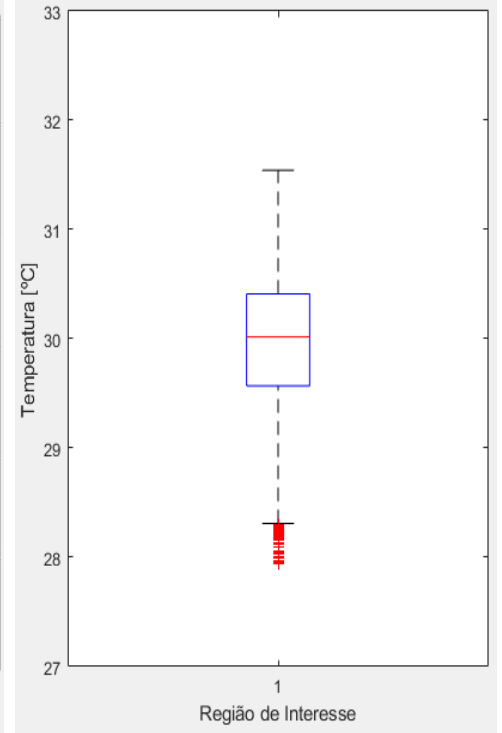
Face posterior (perna esquerda) – antes do treino, após o treino e 20 horas após o treino



Temp. Max: 32.4 °C
Temp. Min: 29.1 °C
Média: 31 °C ; **Mediana:** 31 °C
Desvio Padrão: 0.7



Temp. Max: 32.7 °C
Temp. Min: 27.1 °C
Média: 30.8 °C ; **Mediana:** 31 °C
Desvio Padrão: 1



Temp. Max: 31.5 °C
Temp. Min: 27.9 °C
Média: 29.9 °C ; **Mediana:** 30 °C
Desvio Padrão: 0.7