

**Comparação de parâmetros biomecânicos obtidos na análise da
influência da carga transportada: *backpack, doublebackpack***

Paula Maria Neto Vieira

Relatório Final do Trabalho de Projeto apresentada à

Escola Superior de Tecnologia e Gestão

Instituto Politécnico de Bragança

para obtenção do grau de Mestre em

Tecnologia Biomédica

Este trabalho foi efetuado sob orientação de:

Professor Doutor Luís Miguel Cavaleiro Queijo

Professor Doutor João Rocha Silva

Esta dissertação não inclui as críticas e sugestões feitas pelo Júri

Outubro de 2016

Agradecimentos

Agradeço aos meus orientadores Professor Doutor João Rocha e Professor Doutor Luís Queijo pela disponibilidade, compreensão, paciência e pelo apoio durante todo o trabalho.

Agradeço ao Professor Jorge Santos pela colaboração e ajuda ao longo do trabalho desenvolvido.

Não podia deixar de expressar o meu profundo agradecimento aos meus amigos e colegas que contribuíram para que este projeto fosse possível de realizar disponibilizando parte do seu tempo para a realização deste estudo.

Agradeço igualmente à Escola Superior de Tecnologia e Gestão pela disponibilidade do material e laboratório.

Por último, agradeço aos meus pais pelo carinho, confiança e incentivo que me transmitiram. Foram sempre o maior apoio e foram fundamentais nesta etapa.

“A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo”.

Albert Einstein

Resumo

A utilização da mochila durante a marcha tem provocado um grande interesse em muitos investigadores, pois o uso de carga nas mochilas e os problemas que isso pode acarretar tem gerado algumas discussões. O objetivo deste estudo foi analisar a marcha ao utilizar carga em mochilas bilaterais de modo a verificar se compensa ou não aos indivíduos andar com este tipo de mochilas. Para isso recorreu-se a métodos de análise como a termografia, cinemática e eletromiografia.

Para a realização deste estudo foi utilizada uma amostra de nove indivíduos. Cada indivíduo realizou três ensaios, sem mochila, uma mochila e duas mochilas, num intervalo de 60 minutos. Em cada ensaio os indivíduos andaram numa passareira durante 5 minutos, a uma velocidade auto selecionada.

Para o registo das imagens termográficas foi utilizada uma câmara infravermelha e foi tirada uma imagem em $t=0$ min e duas após o exercício, sendo uma imediatamente a seguir aos 5 minutos de marcha ($t=5$ min) e outra depois de 2 minutos de descanso ($t=7$ min). A análise cinemática foi realizada utilizando uma câmara digital de vídeo e o *software Kinovea*. Para a aquisição do sinal eletromiográfico recorreu-se a um sistema de 8 canais (BITalino) com uma frequência de amostragem de 1000 Hz.

Na análise final em relação à termografia verificou-se que a resposta não foi conclusiva de modo a verificar se é ou não vantajoso andar com duas mochilas. Na análise da marcha através da cinemática com os resultados da média do ângulos α que corresponde ao ângulo medido aquando o primeiro toque do calcanhar com solo do ângulo β que corresponde ao segmento entre a projeção da linha articular do joelho e o trocânter maior do fémur com a horizontal e do ângulo σ que corresponde ao segmento entre o trocânter maior do fémur e o acrómio com a horizontal verificou-se que estes ângulos formados não apresentam diferenças significativas quando os indivíduos andam com uma ou duas mochilas comparando quando andam sem mochila. No que se refere à eletromiografia os músculos eretores da coluna e transversos abdominais apresentaram o mesmo comportamento pois para os indivíduos não é vantajoso utilizarem as duas mochilas.

Palavras-chave: Biomecânica, Marcha, Termografia, Cinemática, Eletromiografia

Abstract

The utilization of backpack during the march has caused a huge interest in many researchers because the use of load in backpack and the consequent problems has generated some discussions. The aim of this study was to analyze the gait using load in bilateral backpacks in order to check if pays off or not to individuals walk with this kind of backpacks. To this end, analysis methods as thermography, kinematic and electromyography has been used.

For this study was used a sample of nine individuals. Each individual realized three tests, without backpack, with one backpack and with two backpack with an interval of 60 minutes among them. In each test, the individuals walk on a treadmill for five minutes at a self selected speed.

For the thermographic images registration was used an infrared camera and was taken an image in $t=0$ min and two imagens after two minutes after the gait, being one of them immediately after to five minutos of gait ($t=5$ min) and another after to two minutos of rest ($t=7$ min). The kinematic analysis was realized using and digital video camara and *Kinovea software*. To electromyography aquisition signal have been used an eight signals system (BITalino) with a sampling frequency of 1000 Hz.

In the final analysis in relation to termography, it was verified that the answer wasn't conclusive in order to check if whether or not conveniente walk with two backpacks. In gait analysis through kinematic with the results of the average of angle α , wich correspond to the angle measured when the first touch of the heel with ground, of angle β , wich correspond to the segment between the projection of the knee joint line and the greater trochanter of the femur with the horizontal, and of angle σ , wich correspond to the segment between the greater trochanter of the femur and the acromion with horizontal, has been verified that these formed angles doesn't show significant differences when the individuals walk with one or two backpack compare when they walk without backpack. In relation to electromyography, the erector spinae and transversus abdominis muscles presented the same behavior so to the individuals aren't advantageous use two backpacks.

Keywords: Biomechanics, Gait, Thermography, Kinematics, Electromyography

Índice

Índice de Figuras	xiii
Índice de Tabelas	xv
Acrónimos e Símbolos	xvii
Capítulo 1	1
1. Introdução	1
1.1. Objetivos.....	2
1.2. Estrutura Organizativa.....	3
Capítulo 2	5
2. Revisão Bibliográfica	5
2.1. A Postura	5
2.1.1. Tipos de Postura	5
2.2. Coluna Vertebral.....	7
2.2.1. Anatomia da Coluna Vertebral.....	7
2.2.2. Doenças Degenerativas da Coluna Vertebral.....	9
2.2.3. Alterações da Curvatura da Coluna Vertebral.....	10
2.3. Definição de Biomecânica.....	12
2.4. Marcha Humana	13
2.4.1. Fases do Ciclo de Marcha	14
2.4.2. Modelos Explicativos da Marcha.....	17
2.5. A Mochila.....	20
2.5.1. O Transporte de Carga e Tipos de Mochila	20
2.5.2. Alterações da Marcha Normal Devido ao Transporte de Cargas na Mochila.....	22
2.5.3. Efeito da Mochila na Postura	24

2.6.	Análise Cinemática da Marcha Humana	26
2.6.1.	Termografia.....	26
2.6.2.	Cinemática.....	29
2.6.3.	Eletromiografia - EMG	31
Capítulo 3	.....	35
3. Ensaio Experimentais	.....	35
3.1.	Materiais e Equipamentos	35
3.2.	População em Estudo	38
3.3.	Procedimento	39
Capítulo 4	.....	43
4. Resultados e Discussões	.....	43
4.1.	Estudo Termográfico	43
4.2.	Estudo Cinemático.....	57
4.3.	Estudo Eletromiográfico - EMG	63
Capítulo 5	.....	67
5. Conclusão.....	.....	67
5.1.	Limitações e Trabalhos Futuros	68
Capítulo 6	.....	69
6. Referências Bibliográficas.....	.....	69
Anexos	.....	75

Índice de Figuras

Figura 1. Imagem da Coluna Vertebral: A – Vista Posterior, B – Vista Anterior, C – Vista Lateral	7
Figura 2. Vista superior de uma vértebra	8
Figura 3. Disco intervertebral	9
Figura 4. Alterações da curvatura da coluna vertebral: lordose, cifose e escoliose	12
Figura 5. Resumo esquemático de um ciclo de marcha da perna direita.....	15
Figura 6. Esquema representativo das subfases do ciclo de marcha	16
Figura 7. Parâmetros dimensionais do ciclo de marcha	16
Figura 8. Ilustração gráfica do conjunto dos seis determinantes da marcha	18
Figura 9. Ilustração gráfica do primeiro determinante da marcha, rotação pélvica	18
Figura 10. Ilustração gráfica do segundo determinante da marcha, inclinação da pélvica	18
Figura 11. Ilustração gráfica do terceiro determinante da marcha, flexão do joelho em apoio unipodálico	19
Figura 12. Ilustração gráfica do quarto e quinto determinante da marcha, pé e joelho..	20
Figura 13. Ilustração gráfica do sexto determinante da marcha, deslocamento lateral da pélvis.....	20
Figura 14. Exemplo de uma imagem termográfica	27
Figura 15. BITalino placa de aquisição de sinais vitais	36
Figura 16. Visualização de três canais - intervalo de tempo completo	36
Figura 17. Câmara FLIR T365	38
Figura 18. Posicionamento dos elétrodos: A - músculo eretor da coluna e B - músculo transversal abdominal.....	41
Figura 19. Registo da temperatura mínima e máxima do indivíduo A sem mochila na frente: A - $t=0\text{min}$, B - $t=5\text{min}$, C - $t=7\text{min}$	43
Figura 20. Registo da temperatura mínima e máxima do indivíduo A sem mochila nas costas: A - $t=0\text{min}$, B - $t=5\text{min}$, C - $t=7\text{min}$	43
Figura 21. Temperatura média do indivíduo A - Frente.....	44
Figura 22. Temperatura média do indivíduo A - Costas	44
Figura 23. Temperatura média do indivíduo B - Frente	45

Figura 24. Temperatura média do indivíduo B - Costas.....	46
Figura 25. Temperatura média do indivíduo C - Frente	47
Figura 26. Temperatura média do indivíduo C - Costas.....	47
Figura 27. Temperatura média do indivíduo D - Frente.....	48
Figura 28. Temperatura média do indivíduo D - Costas	48
Figura 29. Temperatura média do indivíduo E - Frente	49
Figura 30. Temperatura média do indivíduo E - Costas.....	50
Figura 31. Temperatura média do indivíduo F - Frente	51
Figura 32. Temperatura média do indivíduo F - Costas	51
Figura 33. Temperatura média do indivíduo G - Frente.....	52
Figura 34. Temperatura média do indivíduo G - Costas	53
Figura 35. Temperatura média do indivíduo H - Frente.....	54
Figura 36. Temperatura média do Indivíduo H - Costas	54
Figura 37. Temperatura média do indivíduo I - Frente	55
Figura 38. Temperatura média do indivíduo I - Costas.....	56
Figura 39. Marcação dos ângulos do indivíduo A: A - Sem Mochila, B - Uma Mochila, C - Duas Mochilas	58
Figura 40. Valor do ângulo α para todos os indivíduos.....	59
Figura 41. Valor do ângulo β para todos os indivíduos.....	61
Figura 42. Valor do ângulo σ para todos os indivíduos.....	62
Figura 43. Valor do sinal RMS no músculo eretor da coluna	63
Figura 44. Valor do sinal RMS no músculo transverso abdominal.....	64

Índice de Tabelas

Tabela 1. Caracterização da amostra	38
Tabela 2. Peso das mochilas usado por cada indivíduo.....	39
Tabela 3. Valor da velocidade	39
Tabela 4. Média, Desvio Padrão, Máximo e Mínimo do ângulo α no início e no fim de um minuto de filmagens	59
Tabela 5. Média, Desvio Padrão, Máximo e Mínimo do ângulo β no início e no fim de um minuto de filmagens	60
Tabela 6. Média, Desvio Padrão, Máximo e Mínimo do ângulo σ no início e no fim de um minuto de filmagens	62

Acrónimos e Símbolos

EMG	Eletromiografia
RMS	<i>Root Mean Square</i> em português raiz quadrada da média
Kg	Quilograma
m	Metro
kg/m²	Quilograma por metro quadrado
km/h	Quilómetro por hora
m/s	Metro por segundo
α	Alfa
β	Beta
σ	Sigma
min	Minutos

Capítulo 1

1. Introdução

Cada vez mais o uso de mochilas por indivíduos tem provocado discussões acerca da carga da mochila e dos problemas que isto pode acarretar nos indivíduos.

Atualmente, segundo Hong *et al.* (1998), Hong e Cheug (2003) e Flores *et al.* (2006), os indivíduos transportam cargas exageradas nas mochilas ultrapassando muitas das vezes o peso recomendado que é 10% da massa corporal (Hong, *et al.*, 1998; Hong & Cheung, 2003; Flores, *et al.*, 2006). Isto pode levar a alguns problemas de saúde como os desvios posturais ou a escoliose.

As mochilas são utilizadas para transportar cargas e, mais habitualmente, usadas por indivíduos para carregar materiais pessoais e escolares. Essa atividade representa a forma mais comum de esforço físico relacionado com o manuseamento e transporte de peso pelo indivíduo jovem (Carvalho, 2004).

As alterações da postura humana, decorrentes do transporte de carga, despertam interesses de investigadores, devido ao compromisso anatômico e funcional da coluna vertebral que ocorre em função do peso, da forma de transporte e das características físicas dos indivíduos (Carvalho, 2004).

A análise da marcha tem vindo a ser estudada por várias áreas do conhecimento. A Fisiologia e a Biomecânica interessam-se pelos mecanismos envolvidos em diferentes padrões de marcha e velocidades, o trabalho realizado, o modo de funcionamento dos músculos, e o custo metabólico da locomoção. A análise da marcha tem provocado um grande interesse, também, em termos clínicos na deteção, descrição e identificação de consequências de um padrão de marcha patológico. No entanto, esta multidisciplinaridade converge para um objetivo comum: compreender os mecanismos inerentes à marcha humana (Silva, 2014).

Para uma melhor avaliação da marcha é importante abranger mais que um método de análise. Neste trabalho utilizaram-se a eletromiografia, a termografia e a cinemática. Das áreas de estudo da Biomecânica, a eletromiografia, embora seja uma das mais antigas, apresenta uma baixa quantidade de estudos, o que parece dever-se ao elevado

grau de complexidade envolvido na respetiva metodologia de recolha, tratamento e interpretação dos dados. No entanto, o capital informativo que a eletromiografia disponibiliza é de grande importância e aplicabilidade (Fernandes, et al., 2010).

Relativamente à termografia, os primeiros estudos do exercício físico surgiram na década de 1970. Sendo que a termografia pode ser considerada uma alternativa metodológica emergente nos estudos que envolvem a análise da temperatura da pele. É uma técnica que estende a visão humana através do espectro infravermelho e permite visualizar a temperatura da superfície corporal em tempo real com alta sensibilidade de forma não invasiva e sem contato físico com o avaliado (Fernandes, et al., 2012).

A cinemática analisa a posição, a orientação e os movimentos dos segmentos corporais durante a marcha (Fernandes, et al., 2010). Embora não seja o único, o equipamento mais utilizado para as medidas cinemáticas é o baseado em câmaras de vídeo, nomeadamente a videografia, que registam a imagem do movimento, pois é de fácil disponibilidade, utilização e de baixo custo de aquisição, sendo que alguns *software* de análise biomecânica são de livre acesso (Silva, 2014).

Contudo a análise da marcha é uma atividade contínua de pesquisa e desenvolvimento, com novos modelos e métodos em constante desenvolvimento (Silva, 2014).

Assim, com o propósito de estudar a marcha ao transportar cargas em mochilas, o trabalho desenvolvido centra-se na análise da marcha ao transportar cargas em diferentes mochilas, mais precisamente, mochila simples e mochila bilateral. Esta análise é feita de modo a observar se há registo de alterações significantes na marcha e na postura com a utilização das diferentes mochilas.

1.1. Objetivos

Este estudo teve como principal objetivo analisar o estudo da marcha com cargas em mochilas simples e bilaterais comparando com a marcha sem carga.

Os objetivos específicos foram: verificar se compensa ou não aos indivíduos andar com mochilas bilaterais em comparação com mochila às costas e avaliar as alterações da postura nos indivíduos.

Para a concretização destes objetivos cada indivíduo andou numa passadeira rolante a uma velocidade auto selecionada sem mochila, com uma mochila e com duas mochilas. Para isso recorreu-se à termografia, cinemática e eletromiografia.

1.2. Estrutura Organizativa

Para conseguir alcançar os objetivos propostos, o estudo desenvolvido foi dividido em partes, sendo que este está dividido em 5 capítulos.

No Capítulo 1 é feita uma introdução acerca do tema em estudo, sendo enunciados os principais objetivos bem como a estrutura organizativa deste estudo da marcha no transporte de carga nas mochilas.

O Capítulo 2 é referente à revisão bibliográfica onde são apresentados alguns conceitos teóricos relativos à postura, coluna vertebral e definições de biomecânica e marcha humana. São também apresentados alguns estudos do transporte, alterações e efeitos da utilização da mochila. São, ainda, apresentados alguns métodos usados pela biomecânica e que foram utilizados neste estudo: a termografia, a cinemática e a eletromiografia (EMG).

O Capítulo 3 corresponde aos ensaios experimentais em que são expostos os materiais e equipamentos utilizados, a amostra em estudo e o procedimento.

No Capítulo 4 são apresentados os resultados e discussões relativos ao estudo termográfico, ao estudo cinemático e ao estudo eletromiográfico.

No Capítulo 5 são apresentadas todas as conclusões do estudo, bem como possíveis trabalhos futuros.

Capítulo 2

2. Revisão Bibliográfica

2.1. A Postura

Ao longo dos anos o conceito de postura tem progredido. Whitman (1986) citado por Jardim (2013) descreve a postura como uma luta constante contra a força da gravidade (Jardim, 2013).

Numa atividade física a postura correta, em termos de eficácia e custo de energia, é a atitude corporal que simplifica a máxima eficiência sem causar lesões no sistema corporal. O levantamento incorreto de um peso que resulta numa lesão no disco intervertebral ou a dificuldade crescente em escrever quando o braço não está devidamente apoiado poderá levar a uma posturar incorreta (Jardim, 2013).

Segundo Smith e Lehmkuhl (1997) citado por Jardim (2013) definem a postura como sendo a posição ou atitude do corpo, a disposição relativa das partes do corpo para uma atividade específica ou uma maneira característica de suportar o próprio corpo (Jardim, 2013).

De acordo com Kendall *et al.* (1995) a postura é o arranjo característico que cada pessoa encontra para sustentar o seu corpo e utilizá-lo na vida diária sendo que a principal preocupação é alcançar o objetivo com o mínimo dispêndio de energia e não a maneira como é alcançado (Kendall, et al., 1995).

Nas estruturas responsáveis por manter o corpo numa postura ereta a gravidade impõe uma carga. Geralmente, a linha da gravidade passa pelas curvaturas fisiológicas da coluna vertebral e elas ficam equilibradas (Jardim, 2013).

2.1.1. Tipos de Postura

Existem dois tipos de postura corporal de acordo com Knoplich (1989) citado por Minhoto (2003) a postura estática e a postura dinâmica (Minhoto, 2013).

A postura estática exige um enorme equilíbrio do organismo do Homem na posição parada (de pé, sentado ou deitado) para que não cause nenhuma lesão nas vértebras, discos, articulações e músculos (Minhoto, 2013).

Segundo Braccially e Vilarta (2000) afirmam que o peso do corpo na posição em pé exerce uma grande pressão sobre o eixo da coluna vertebral, resultando numa redução da hidratação dos discos intervertebrais (Braccially & Vilarta, 2000).

Para a manutenção da postura estática Busquet (1994) citado por Minhoto (2013) considera a existência de duas prioridades: economia e conforto. De modo a satisfazer estas prioridades o autor refere que a estrutura óssea responde perfeitamente à função estática por ser uma estrutura ligeira e resistente. Contrariamente, os músculos não se adequam ao desempenho desta postura estática por serem uma estrutura demasiado dispendiosa do ponto de vista energético, considerando que não foram gerados para trabalhar de forma contínua. Mas apesar disso o mesmo autor afirma que o sistema muscular é solicitado para responder à função estática, com bastante frequência, e, quando isso acontece, o indivíduo acabará por apresentar, a médio prazo, problemas de coluna, desequilíbrios musculares e de postura. Para garantir a manutenção da postura estática e da estrutura óssea o mesmo autor aponta o tecido conjuntivo como a estrutura ideal, uma vez que não acarreta gasto energético (Minhoto, 2013).

A postura dinâmica exige um equilíbrio ajustado na realização de todos os movimentos existentes, que devem ser executados sem causar nenhuma dor (Jardim, 2013).

Um simples gesto é constituído por um conjunto de ações que se ajustam para atingir o equilíbrio dinâmico. Quando realizada uma tensão inicial, irão realizar-se inúmeras tensões inerentes, recrutando todo o sistema locomotor, através dos sistemas cruzados equilibrados entre si, dispostos anteriormente e posteriormente (Jardim, 2013).

A postura dinâmica de acordo com Nordin e Frankel (1989) citado por Gonçalves (2012) está muitas vezes relacionada com as ações do quotidiano (caminhar, correr, subir e descer escadas, levantar ou transportar objetos), ou seja, aos movimentos referentes às atividades da vida diária. Este tipo de postura pode provocar, de forma progressiva, patologias degenerativas, devido ao facto de ser influenciada por hábitos posturais que, quando inadequados, envolvem movimentos bruscos desrespeitando os princípios biomecânicos (Gonçalves, 2012).

Para assegurar uma boa postura é essencial que exista um equilíbrio constante, estático e dinâmico (Jardim, 2013).

2.2. Coluna Vertebral

2.2.1. Anatomia da Coluna Vertebral

A coluna vertebral é uma importante estrutura de suporte do organismo humano pois permite a manutenção de uma postura ereta e tem a complexa capacidade de conciliar dois processos fundamentais: a estabilidade estrutural e o movimento. Situa-se na porção posterior e mediana do tronco e divide-se em quatro regiões - cervical, dorsal, lombar e sacro-coccigea (Quaresma, 2010).

Por ser um dos elementos tão importantes para a postura apresenta-se esta pequena revisão com a finalidade de melhor enquadrar a importância da manutenção de uma postura tão próxima do normal quanto possível. Em todo este trabalho, a postura e a marcha normais são definidas por oposição à marcha patológica.

A coluna vertebral, Figura 1, é constituída por 33 ou 34 vértebras e divide-se em quatro regiões: coluna cervical (constituída por sete vértebras cervicais), coluna dorsal ou torácica (constituída por doze vértebras dorsais), coluna lombar (constituída por cinco vértebras), e coluna sacro-coccigea formado pelo sacro (com cinco vértebras soldadas) e pelo cóccix formado por quatro ou cinco vértebras soldadas entre si (Quaresma, 2010).



Figura 1. Imagem da Coluna Vertebral: A – Vista Posterior, B – Vista Anterior, C – Vista Lateral
Adaptado de (Netter, 2001)

As vértebras, Figura 2, são constituídas pelo corpo (anteriormente) e pelo arco vertebral (posteriormente). As vértebras apresentam elementos comuns: o corpo vertebral, a apófise espinhosa, as apófises transversas, as apófises articulares, as lâminas vertebrais e os pedículos (Quaresma, 2010).

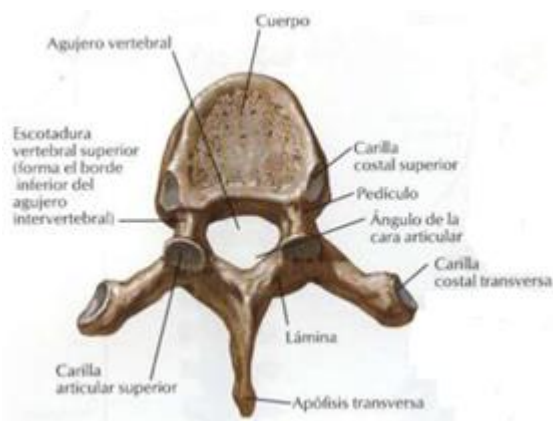


Figura 2. Vista superior de uma vértebra (Netter, 2001)

O arco vertebral é constituído pelo conjunto de todas as apófises, lâminas e pedículos e a sobreposição de todos os buracos vertebrais origina o canal vertebral (Quaresma, 2010).

O corpo é constituído por tecido esponjoso e possui uma forma cilíndrica achatada em que as superfícies superior e inferior, praticamente planas, se inserem nos discos intervertebrais. Corresponde à parte mais espessa e volumosa da vértebra e confere a capacidade de suportar pesos consideráveis (Gabriel, 2012).

De modo que a coluna vertebral seja uma estrutura coesa as vértebras adjacentes articulam-se entre si por meio dos corpos e dos arcos vertebrais (Gabriel, 2012).

Os corpos vertebrais unem-se através dos discos intervertebrais e dos ligamentos longitudinais anterior e posterior (Gabriel, 2012).

O disco intervertebral, Figura 3, estrutura fibrocartilaginosa, é constituído por duas partes anatomo-funcionais: o fibroso e o núcleo pulposo. Situa-se entre as vértebras e é responsável por, aproximadamente, 25% do comprimento da coluna vertebral. (Quaresma, 2010). Os discos intervertebrais proporcionam uma maior estabilidade entre as vértebras, evitam o atrito entre os corpos vertebrais e funcionam como amortecedores, pois absorvem forças que atuam na coluna vertebral durante a execução de movimentos (Gabriel, 2012).

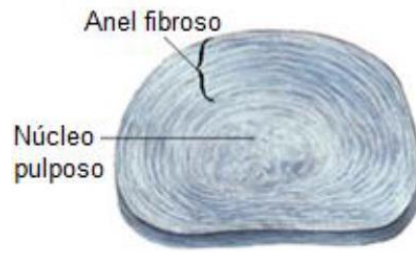


Figura 3. Disco intervertebral (Netter, 2001)

Os arcos vertebrais adjacentes possuem as seguintes articulações entre si: cápsulas articulares (unem as apófises articulares), ligamentos amarelos (entre as lâminas), ligamentos interespinhosos (unem as apófises espinhosas), ligamentos supra-espinhosos (ligam os vértices das apófises espinhosas) e ligamentos intertransversários (entre as apófises transversas) (Gabriel, 2012).

O sacro e o cóccix unem-se através de um disco fibrocartilaginoso, resultando a articulação sacrococccígea (Gabriel, 2012).

2.2.2. Doenças Degenerativas da Coluna Vertebral

A doença degenerativa da coluna vertebral é um problema comum, mas difícil. Diversos problemas comuns surgem quando as camadas externa - anel fibroso e a interior da cartilagem - núcleo polposos, dos discos intervertebrais são atingidas por uma doença degenerativa da coluna. Tal inclui doença degenerativa dos discos, hérnia de disco intervertebral, estenose do canal medular, espondilolistese e espondilose (Phipps, et al., 1999).

A doença degenerativa dos discos (DDD) desenvolve-se devido a alterações bioquímicas e biomecânicas nos discos intervertebrais. O material gelatinoso mucoide do núcleo polposos é substituído por fibrocartilagem, devido ao envelhecimento. O conteúdo de água dos discos muda de 90%, durante a infância, para 70% aos 60 anos de idade (Phipps, et al., 1999).

O disco intervertebral herniado é uma protusão do núcleo polposos ao longo de uma ruptura no anel. A herniação pode ocorrer anterior, posterior ou lateralmente. A saída da substância do disco pode comprimir a raiz de um nervo. A herniação pode ocorrer em resultado de um traumatismo, de um movimento penetrante ou repentino, ou de uma degeneração. Os sintomas podem desenvolver-se imediatamente, ou levar anos a

manifestar-se. A localização e tamanho da hérnia determinarão os sinais e sintomas associados. A dor associada à hérnia discal pode ser causada por pressão direta dos fragmentos do disco, na raiz do nervo, pela distribuição de produtos do núcleo polposo degenerado, ou por reação autoimune (Phipps, et al., 1999).

A estenose do canal medular é um estreitamento do canal vertebral ou do buraco intervertebral em qualquer nível, criando pressão nas raízes dos nervos envolvidos e resultando em sintomas neurológicos. A estenose do canal medular resulta da hipertrofia dos ossos, lâminas e faces articulares dos ligamentos (Phipps, et al., 1999).

A espondilolistese é a protusão de uma vértebra sobre a outra. A espondilolistese pode ser uma anomalia congênita, ou ser causada por alterações degenerativas, traumatismo e doença óssea. Geralmente a causa é a espondilose (Phipps, et al., 1999).

A espondilose refere-se a um defeito estrutural da lâmina, geralmente na coluna lombar. Os segmentos interarticulares (entre as faces articulares superiores e inferiores) são geralmente o local do defeito. A protusão da vértebra pode causar compressão do nervo, manifestada por défices motores e sensitivos nos níveis envolvidos, como dor, falta de força, e/ou envolvimento vesical ou intestinal. A protusão pode ser detetada quando as apófises espinhosas são palpadas (Phipps, et al., 1999).

2.2.3. Alterações da Curvatura da Coluna Vertebral

A escoliose (plano frontal), a cifose ou hipercifose (plano sagital) e a lordose ou hiperlordose, (plano sagital), Figura 4, são alterações da curvatura da coluna vertebral.

A palavra escoliose é originária da palavra grega que significa curvatura e foi Hipócrates (1460-1375 a.C.) o primeiro a efetuar citações sobre esta patologia. Na escoliose surgem curvaturas anormais da coluna vertebral no plano frontal que se manifesta com a elevação das costelas (Monteiro, 2013).

A escoliose é uma entidade nosológica em que surgem curvaturas (uma ou mais) anormais da coluna vertebral no plano frontal/coronal podendo ser do tipo não estrutural (atitude escoliótica) ou estrutural (Monteiro, 2013).

A escoliose não estrutural, são curvaturas patológicas, móveis, flexíveis e são caracterizadas essencialmente pela inclinação das vértebras da curvatura, mas sem rotação dos corpos vertebrais. Sob o ponto de vista clínico não está associado com

deformidade da caixa torácica, razão pela qual está preservada a simetria da face posterior do tórax na flexão anterior da coluna e na posição de decúbito e é sempre possível corrigir a deformidade. Nas escolioses não estruturais a deformidade da coluna é um sintoma e não a causa principal do quadro clínico. Sendo assim, o seu tratamento é o tratamento da sua situação de base (Monteiro, 2013).

A escoliose estrutural é caracterizada pela rotação fixa dos corpos vertebrais no exame clínico e pela assimetria da amplitude de movimentos na flexão lateral da coluna. Sob o ponto de vista clínico ocorre rotação das apófises espinhosas para a concavidade da curva e do corpo das vértebras e das costelas para o lado da convexidade provocando a proeminência habitual no dorso destes pacientes. A deformidade é fixa e não desaparece com as mudanças de posição sendo a vértebra do ápice a mais deformada (Monteiro, 2013).

Fatores como a magnitude da curva, a idade do paciente e a causa da escoliose afetam o desenvolvimento natural das curvaturas da coluna sendo, portanto, essencial determinar a fase de crescimento ósseo em que o paciente se encontra (Monteiro, 2013).

A cifose é caracterizada por uma curvatura fisiológica da coluna torácica de raio anterior com cerca de 20 a 40 graus de amplitude, que lhe é dada pelo formato ligeiramente em cunha do corpo vertebral e dos discos, que são mais finos e ligeiramente achatados na sua posição mais anterior. No entanto, pode ser considerada patológica pois há situações em que esta curvatura fisiológica está exagerada (Monteiro, 2013).

O aumento deste tipo de curvatura promove alterações anatômicas fazendo com que ocorra um encurtamento vertebral bem como um déficit respiratório, por reduzir a capacidade de sustentação da coluna vertebral e também a diminuição da expansibilidade torácica (Monteiro, 2013).

A lordose é um aumento exagerado nas curvaturas cervical e lombar. A região lombar desempenha um papel de importância para a posição ereta visto que assiste a manutenção da postura vertical. Foi verificado que alterações na lordose lombar influenciam vários aspectos da mecânica da coluna podendo causar lesões nos tecidos adjacentes. A flexão da coluna lombar, além do fisiológico, comparada com a postura normal resulta numa redução de força dos músculos extensores, aumento do risco de

lesões nos ligamentos e herniação posterior do disco bem como a diminuição da tolerância de esforços físicos como o transporte de peso (Monteiro, 2013).

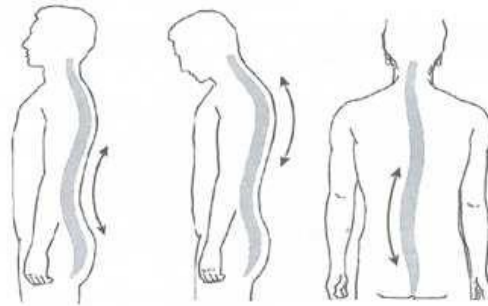


Figura 4. Alterações da curvatura da coluna vertebral: lordose, cifose e escoliose (Quaresma, 2010)

2.3. Definição de Biomecânica

Existem várias definições de biomecânica. Diferentes autores têm vindo a propor distintas definições para esta ciência, que é o mesmo que dizer que perfilham diferentes perspectivas quanto ao seu papel no domínio da investigação na área da atividade física (Barbosa, 2010).

Ao analisar a palavra biomecânica morfologicamente, pode-se decompor o termo em duas partes. No prefixo “bio”, de biológico, ou seja, relativo aos seres vivos e, mecânica. Logo, a biomecânica será a aplicação dos princípios da mecânica aos seres vivos (Barbosa, 2010).

A biomecânica é uma disciplina que, entre as ciências derivadas das ciências naturais, se ocupa de análises físicas de sistemas biológicos, consequentemente, de análises físicas de movimentos do corpo humano (Amadio, et al., 1999).

Para Hay (1973) citado por Nigg e Herzog (1994) a Biomecânica é a ciência que estuda as forças internas e externas que atuam sobre o corpo humano e os efeitos que elas produzem (Nigg & Herzog, 1994).

Nigg e Herzog (1994) fizeram uma adaptação da definição de biomecânica feita por Hay (1973) afirmando que a biomecânica é a ciência que examina as forças que atuam sobre e no interior de uma estrutura biológica e os efeitos produzidos por essas forças (Nigg & Herzog, 1994).

A definição sugerida por Hay (1973) é análoga ao proposto por Hatze (1971) citado por Nigg e Herzog (1994). Segundo Hatze (1971) a biomecânica é a ciência que estuda as estruturas e funções dos sistemas biológicos, utilizando os conhecimentos e métodos da mecânica (Nigg & Herzog, 1994).

A biomecânica pode ser classificada em biomecânica externa e interna. Esta divisão efetua-se segundo a determinação quantitativa ou qualitativa da força que atua sobre os corpos, considerando ainda a interação do corpo com o meio onde o movimento acontece. A biomecânica externa ocupa-se das grandezas que podem ser observadas na periferia do corpo através das forças externas. A biomecânica interna investiga as forças que têm a sua origem dentro de um corpo e que na maioria dos casos pressupõe conhecimento da biomecânica externa (Amadio, et al., 1999).

2.4. Marcha Humana

A marcha é um importante elemento de independência pois permite a execução de atividades diárias e contribui para o funcionamento de diferentes sistemas corporais. A marcha bípede serve tanto como forma de locomoção como modalidade de exercício físico, sendo uma habilidade comum aos seres humanos (Franco, et al., 2015). Resulta de uma complexa interação de forças musculares, comandos motores neuronais e movimentos articulares (Sousa & Tavares, 2010).

Locomover-se de uma forma bípede nem sempre é fácil pois abrange muitos aspetos que não passa apenas pelo simples ato de posicionar uma perna à frente da outra. A caminhada bípede pode ser entendida como um movimento cíclico nem que há perda e recuperação do equilíbrio resultante da variação constante da posição do centro de massa corporal que promove instabilidade do corpo (Carvalho, et al., 2015).

Segundo Wickstrom (1990) a marcha humana, é caracterizada por uma ação alternada e progressiva dos membros inferiores em que existe um contacto permanente com a superfície de apoio, sendo que consiste numa forma natural de locomoção vertical. Pode definir-se a marcha como resultante de duas capacidades: o equilíbrio e a locomoção (Wickstrom, 1990).

Cada indivíduo tem características muito próprias de marcha como o comprimento do passo, cadência, velocidade, amplitudes de movimento. Contudo, em todos os

indivíduos a marcha é realizada de forma a obter um custo energético muito pequeno (Completo & Fonseca, 2011). Inman *et al.* (1981) sugerem que para manter a postura ereta o equilíbrio é essencial, enquanto a coordenação sucessiva de movimentos é fundamental para a realização da marcha (Inman, et al., 1981).

A compreensão da marcha humana é uns dos movimentos mais comuns do ponto de vista biomecânico, pois durante a marcha estão expostas forças externas constantes. Com o estudo dessas forças haverá uma maior compreensão dos mecanismos dinâmicos da marcha. Num espaço tridimensional, move-se um número de segmentos corporais entre si com a variação das suas velocidades, amplitudes e acelerações e, exercendo forças e momentos variáveis entre si, é possível uma melhor compreensão do movimento ao especificar todos estes parâmetros biomecânicos (Completo & Fonseca, 2011).

A marcha humana do ponto de vista neurofisiológico consiste numa sequência de reflexos e eventos, conciliando movimentos muito complexos, que quando apreendidos tornam-se subconscientes. Diversos mecanismos de controlo motor atuam na geração/controlo deste padrão de movimento (Completo & Fonseca, 2011).

2.4.1. Fases do Ciclo de Marcha

O ciclo de marcha é o intervalo de tempo entre duas ocorrências sucessivas de um dos eventos repetitivos da mesma, sendo que estes eventos, que se repetem de forma consciente, explicam as várias fases do ciclo da marcha (Barbosa, 2011).

Segundo Norkin (1992) e White (1999) citado por Completo e Fonseca (2011) o ciclo de marcha é a sequência de movimentos que ocorre entre dois contactos seguidos do mesmo pé com solo. Pode-se considerar que o ciclo de marcha começa com o primeiro contacto do calcanhar do pé direito com o solo e acaba quando há novamente o contacto do calcanhar do pé direito com o solo. Os apoios consecutivos do calcanhar do pé esquerdo no solo é uma outra maneira de se considerar como instantes inicial e final do ciclo de marcha como está representado na Figura 5 (Completo & Fonseca, 2011).

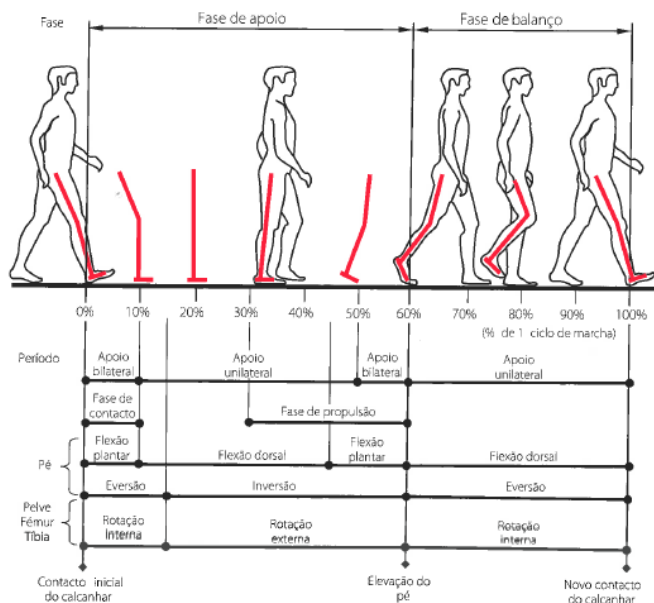


Figura 5. Resumo esquemático de um ciclo de marcha da perna direita (Completo & Fonseca, 2011)

O ciclo de marcha tem duas fases: a fase de apoio e a fase de balanço. Segundo Winter (2005) afirma que na fase de apoio o pé está em contacto com a superfície de apoio enquanto que a fase de balanço corresponde ao período em que o pé não está em contacto com a superfície de apoio, terminando esta fase quando o calcanhar contacta novamente o solo. Durante a fase de balanço o membro contralateral é refletido no joelho sendo que não está em contacto com a superfície de apoio, adiantando-se para tocar o solo à frente do indivíduo (Winter, 2005).

Valmassy (1996) diz que o ciclo de marcha dura sensivelmente um segundo. A fase de apoio ocupa entre 51 e 60% do ciclo e a fase de balanço entre 38 e 40% do ciclo (Valmassy, 1996). Cada uma destas fases pode ser subdividida em mais subfases como se pode observar na Figura 6. A fase de apoio divide-se em: contacto inicial, apoio bilateral, apoio unilateral e propulsão como apresentado na Figura 5. Whittle (2003) sugere que quando o calcanhar do pé atinge o solo se inicia o período de contacto e este termina quando da subida do pé contralateral. Este período ocupa cerca de 10% do ciclo de marcha e 18% da fase de apoio e é, também, chamado de duplo apoio inicial e receção de carga. Logo após a elevação do pé contralateral inicia-se o período de apoio unilateral que termina com o início da elevação do calcanhar do pé. Esta fase é chamada de fase média de apoio e ocupa cerca de 20% do ciclo de marcha e 30% da fase de apoio. O período propulsivo inicia-se quando da elevação do calcanhar do pé apoiado e

termina com a elevação da zona digital do mesmo pé (Whittle, 2003). Para Valmassy (1996) esta fase ocupa cerca de 30% do ciclo da marcha e 50% da fase de apoio e engloba a fase de apoio final e a fase de pré-balanço. A fase inicial do balanço começa quando se dá a elevação do pé de apoio e termina com os dois pés em posição vertical, sendo que a fase final de balanço acaba com o contacto do calcanhar do pé (Valmassy, 1996).

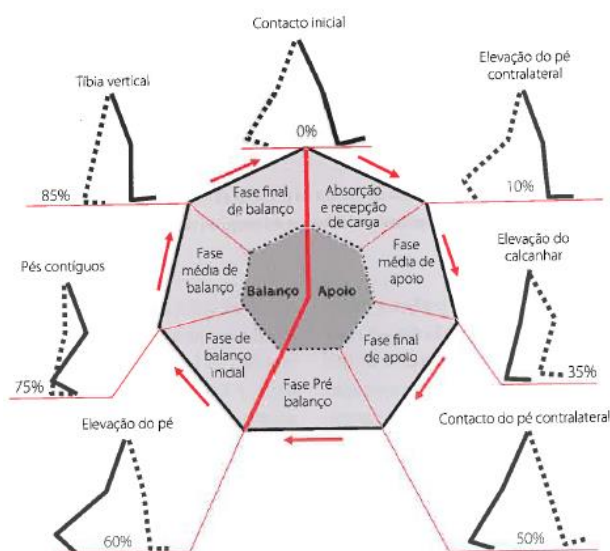


Figura 6. Esquema representativo das subfases do ciclo de marcha. Adaptado de (Whittle, 2003)

O tempo de ciclo de marcha, o comprimento de passo, o comprimento de passada, a largura e a velocidade de avanço linear são variáveis relacionadas com o tempo e a distância que caracterizam o ciclo de marcha (Completo & Fonseca, 2011).

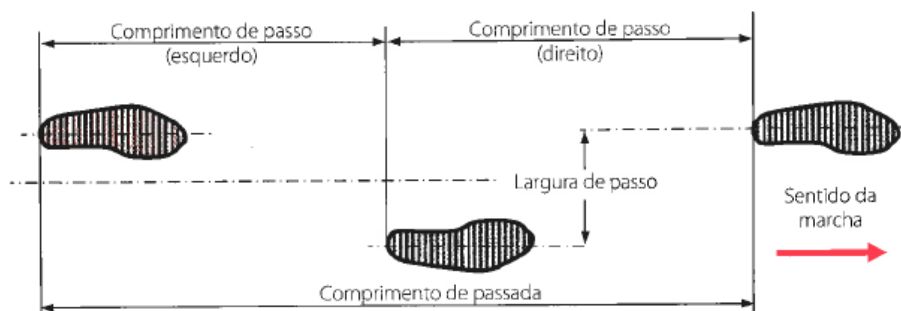


Figura 7. Parâmetros dimensionais do ciclo de marcha (Completo & Fonseca, 2011)

Todas as fases do ciclo de marcha são influenciadas por diversas variáveis cinemáticas, cinéticas, neuromusculares e antropométricas que podem ser identificadas como padrões característicos da marcha (Completo & Fonseca, 2011).

2.4.2. Modelos Explicativos da Marcha

A teoria dos seis determinantes da marcha e a teoria da analogia a um pêndulo invertido foram as duas teorias que dominaram, durante várias décadas, o estudo da marcha (Sousa & Tavares, 2010).

Na teoria do pêndulo invertido, de acordo com Cavagna e Kaneko (1977) a marcha é parecida a um mecanismo idêntico a um pêndulo invertido, em que a energia cinética é convertida em energia potencial gravítica e vice-versa conservando mais de 60 a 70% da energia mecânica fundamental (Cavagna & Kaneko, 1997). A força mais importante que determina o pêndulo invertido, de acordo com Komura *et al.* (2005), é a gravidade e tem de ser pelo menos igual à força centrípeta (Komura, et al., 2005). A razão entre as duas forças corresponde ao número Froude apresentado por Alexander em 1989 (Sousa & Tavares, 2010).

Griffin *et al.* (2003) afirmam que a maior parte do trabalho realizado durante a marcha, segundo este modelo, não é feito através de trabalho ativo muscular, mas sim por um mecanismo passivo de troca de energia cinética e potencial (Griffin, et al., 2003). Sendo assim, segundo Waters e Mulroy (1999), este processo faz com que haja a transferência de energia entre passos contínuos bem como também a manutenção de um valor sensivelmente constante do nível de energia mecânica total (Waters & Mulroy, 1999).

Segundo Griffin *et al.* (2003) na teoria dos seis determinantes, Figura 8, da marcha há a existência de um conjunto de mecanismos como a rotação pélvica, inclinação e flexão do joelho na fase de apoio minimizam a absorção do choque e suavizam os pontos de inflexão do centro de gravidade e força de reação ao solo (FRS) vertical consequente que são considerados determinantes no padrão de marcha (Griffin, et al., 2003).

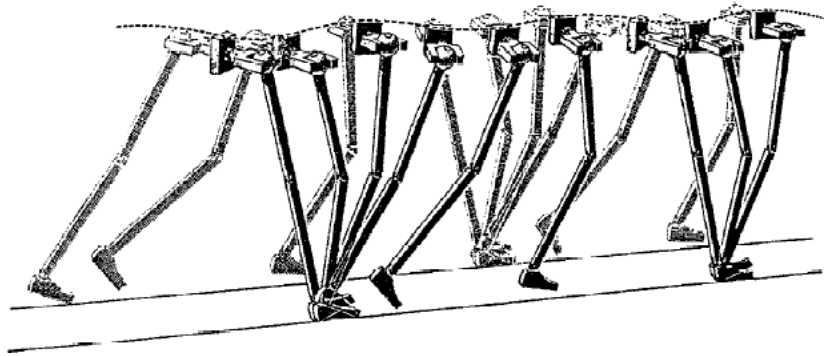


Figura 8. Ilustração gráfica do conjunto dos seis determinantes da marcha (Medved, 2001)

De acordo com Sanders et al. (1953) a rotação pélvica, Figura 9, eleva as extremidades do arco tornando os ângulos de inflexão menos abruptos o que diminui o custo energético. A perda de energia potencial é mais gradual e a força requerida para alterar a direção do centro de gravidade no próximo arco é menor (Sanders, et al., 1953).

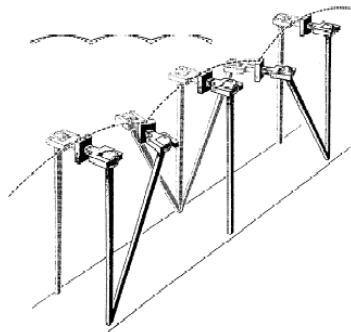


Figura 9. Ilustração gráfica do primeiro determinante da marcha, rotação pélvica (Medved, 2001)

Segundo Sanders et al. (1953) e Waters e Mulroy (1999) afirmam que a inclinação pélvica, Figura 10, faz com que haja o deslocamento do centro de gravidade duas vezes no mesmo ciclo (Sanders, et al., 1953; Waters & Mulroy, 1999).

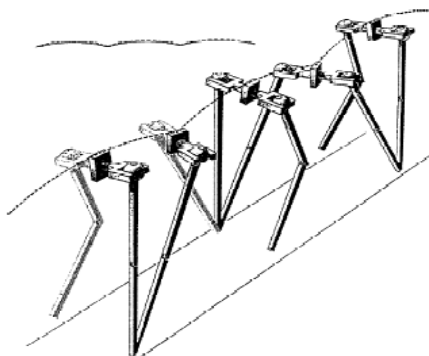


Figura 10. Ilustração gráfica do segundo determinante da marcha, inclinação da pélvis (Medved, 2001)

De acordo com Sanders *et al.* (1953) a flexão do joelho em apoio unipodálico, Figura 11, constitui outro determinante. O membro em carga inicia a fase de apoio unipodálico com o joelho em extensão completa, começando a flexionar, e continua até o pé estar apoiado no solo ($\approx 15^\circ$). Imediatamente antes do período de carga completa médio, o joelho, uma vez mais, passa para extensão, o que é imediatamente seguido por flexão terminal do joelho (Sanders, et al., 1953).

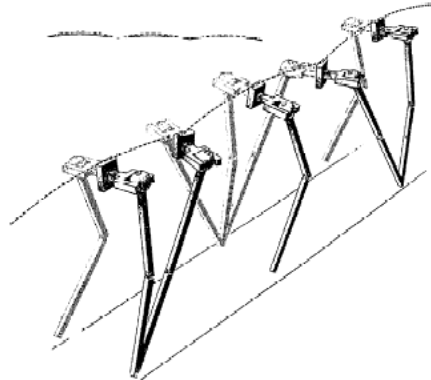


Figura 11. Ilustração gráfica do terceiro determinante da marcha, flexão do joelho em apoio unipodálico (Medved, 2001)

Segundo Sanders *et al.* (1953) existe uma íntima relação entre deslocamentos angulares do pé e joelho, Figura 12. Podem mesmo ser estabelecidos dois arcos que se intersectam durante a fase de apoio unipodálico. No contacto do calcâneo, o pé está em dorsiflexão e o joelho em extensão completa, de modo que a extremidade está no seu comprimento máximo e o centro de gravidade encontra o seu ponto mais baixo de deslocação ascendente. A flexão plantar rápida associada ao início da flexão do joelho mantém o centro de gravidade na sua progressão a um mesmo nível durante algum tempo, baixando e revertendo suavemente a curvatura no início do seu arco de translação. O término deste arco é similarmente achatado e suavemente invertido pela flexão do segundo joelho associado à propulsão (Sanders, et al., 1953).

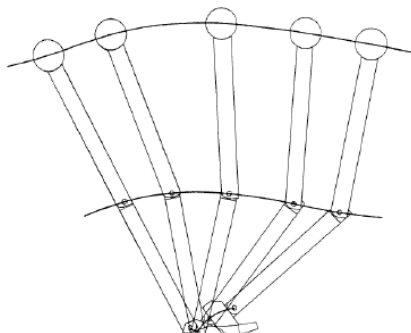


Figura 12. Ilustração gráfica do quarto e quinto determinante da marcha, pé e joelho (Medved, 2001)

O sexto determinante, Figura 13, está relacionado com o deslocamento lateral da pélvis ou pela adução relativa da mesma.

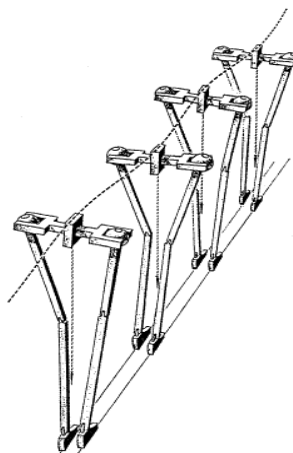


Figura 13. Ilustração gráfica do sexto determinante da marcha, deslocamento lateral da pélvis (Medved, 2001)

2.5. A Mochila

2.5.1. O Transporte de Carga e Tipos de Mochila

O peso e a forma da carga transportada são duas das suas características físicas fundamentais, que influenciam a eficácia do transporte externo. O aspeto do objeto a transportar afeta muito na maneira de transporta-lo e por consequência nas alterações biomecânicas e no gasto energético (Carvalho, 2004).

O valor máximo da variável peso é referido em muitas pesquisas como uma percentagem da massa corporal do indivíduo a analisar (Carvalho, 2004).

Num estudo realizado por Yuy e Lu (1990) foram analisados 93 homens chineses que caminharam com uma velocidade de 5 km/h em duas situações. Os testes eram

realizados durante 7 horas por dia e os pesos eram usados em dias diferentes. Na primeira situação não transportaram carga e na outra situação transportaram uma carga de 15 kg, 20 kg e 31 kg. Perante a análise dos testes realizados verificaram que a frequência cardíaca manteve-se abaixo de 120 pulsações por minuto em 95% das medições quando a carga não ultrapassava de 20 kg. Sendo assim, o valor aceitável de peso a ser transportado deveria ter este limite máximo (Yuy & Lu, 1990).

Ao comparar diferentes métodos de transporte de carga Legg e Mahanty (1985) sugerem que devem ser utilizados métodos objetivos e subjetivos de análise das experiências sobre o transporte de cargas, uma vez que raramente existe consenso sobre a forma ideal de transportar (Legg & Mahanty, 1985). Datta e Ramanathan (1971) compararam sete maneiras diferentes de transportar cargas de 30 kg por adulto, relativamente à forma do objeto. A distância percorrida foi de 1 km e a velocidade de 5 km por hora. Perante este estudo ficou demonstrado que fisiologicamente o método mais eficaz de transportar é o de carga disposta duplamente e quantitativamente anterior e posterior ao tronco, isto é, a carga é distribuída simetricamente e localizada na face anterior e posterior do tórax. O método fisiologicamente menos eficiente era o transporte de carga segurada pela mão, isto é, ocorre um consumo maior de oxigénio (VO₂) devido ao trabalho biomecânico maior dos músculos, durante a marcha com cargas assimétricas (Datta & Ramanathan, 1971).

Kinoshita (1985) estudou a marcha sem transporte de carga e com transporte de carga. Neste estudo foi utilizada uma amostra de 10 homens com massa média corporal de 64 kg. Para comparar, os indivíduos usaram dois tipos de mochilas nas condições de transporte de carga: uma mochila simples dorsal e uma mochila dupla (metade da massa na face anterior do tórax e metade da massa no dorso). A massa destas mochilas era 10% e 20% da massa do indivíduo analisado. Quando caminhavam com uma mochila dupla (*double backpack*) a postura do corpo e o padrão da marcha eram próximos do normal. Isto sugere que a mochila dupla (com distribuição simétrica de massa na face anterior do tórax e na região dorsal) era biomecanicamente mais eficiente do que a mochila convencional dorsal (mochila única situada no dorso - *backpack* comum) (Kinoshita, 1985).

Reilly, Lees, Atkinson e Doggart (1993) citados por Carvalho (2004) abordaram a ação ergonómica das mochilas com formato duplo (anterior e posterior: *double-pouch* ou *double backpack*) e mochilas bilaterais. Observaram que ambos os tipos de mochilas

são ergonomicamente superiores quando comparadas com mochilas simples (unilaterais) carregadas num ombro. Esta diferença é devida ao esforço maior para manter o padrão de marcha. Quando o indivíduo caminha ocorre a necessidade de maior compensação lateral na postura. Quando a dupla-mochila (frontal e dorsal) foi utilizada causou uma menor contração da musculatura espinal e menor esforço cardiovascular (Carvalho, 2004).

2.5.2. Alterações da Marcha Normal Devido ao Transporte de Cargas na Mochila

São vários os autores que estudam e se preocupam com as alterações da marcha devido ao transporte de cargas na mochila.

O estudo realizado por Pascoe *et al.* (1997) teve como objetivo analisar as alterações da marcha durante o transporte de cargas em mochilas em jovens adultos utilizando variáveis biomecânicas. Para isso, as mochilas tinham um peso correspondente a 17% da massa corporal dos jovens onde se verificou, através de procedimentos cinemáticos, que quando o indivíduo carrega mochilas com apoio unilateral, houve inclinação lateral do tronco, elevação do ombro e inclinação para a frente do tronco. Consequentemente verificou-se também, uma diminuição do comprimento do passo e um aumento da frequência do mesmo (Pascoe, et al., 1997).

Num outro estudo Hong *et al.* (1998) analisaram os efeitos fisiológicos causados por transportar pesos diferentes durante a marcha. Para a realização deste estudo, 15 crianças do sexo masculino, de 12 anos, foram selecionadas a partir de uma escola primária para transportar no tapete rolante 0%, 10%, 15% e 20% da sua massa corporal. Os indivíduos caminharam durante 20 minutos a 1,1 m/s. A frequência cardíaca e o ar expirado foram registados através de um sistema de função cardiopulmonar antes, durante e até cinco minutos após a caminhada. Após a análise dos resultados verificou-se que houve um maior gasto de energia quando é transportado 10% e 20% da massa corporal, mas nenhuma diferença nas respostas cardiovasculares entre todas as condições de carga. É recomendado 10% de peso corporal para o peso de mochilas para crianças, porque ele não aumenta significativamente o custo metabólico de pé (Hong, et al., 1998).

Li e Hong (2001) realizaram um estudo com 25 indivíduos selecionados de uma escola primária, em que analisaram as mudanças de posição do tronco e o padrão de respiração em crianças que andam sob condições de transporte de carga. Cada indivíduo participou em quatro ensaios que consistia em caminhar num tapete rolante durante 20 minutos. Num ensaio tinham que caminhar sem mochila (0% da massa corporal), nos outros três ensaios tinham que transportar mochilas escolares com uma massa de 10%, 15% e 20% da massa corporal do indivíduo. O volume de ar inspirado ou expirado, frequência respiratória e ventilação foram medidos através de um sistema de função cardiopulmonar, antes, durante e até 3 minutos, após a caminhada. Os resultados mostraram que existe uma relação linear positiva entre o peso da carga, inclinação do tronco para a frente e frequência respiratória. Uma caminhada de 20 minutos com uma carga de 20% induziu no tronco uma inclinação significativa para a frente e uma diminuição da amplitude de movimento do mesmo, bem como um aumento da frequência respiratória (Li & Hong, 2001).

Wang *et al.* (2001) efetuaram uma investigação em que avaliaram as forças de impacto durante a marcha, com ajuda de trinta participantes universitários. Foram realizados aleatoriamente três ensaios com velocidade de marcha auto selecionada ou fixa, sem carga ou com uma carga de 15% da massa corporal. Ao transportar uma carga de 15%, houve uma diminuição na velocidade, uma diminuição no tempo de apoio simples e um aumento no tempo de duplo apoio. Quando os impulsos foram analisados verificou-se que os impulsos por passada aumentaram significativamente no apoio duplo e diminuíram significativamente no apoio simples (Wang, et al., 2001)

Um estudo realizado por Flores *et al.* (2006) em que o objetivo era verificar as diferenças cinemáticas na marcha de crianças com e sem o uso de mochila. Foi analisada a marcha de 4 crianças, todas com 9 anos de idade, com e sem o uso de mochila, utilizando equipamentos de análise biomecânica. A percentagem de carga na mochila utilizada pelos sujeitos do estudo foi controlado e foram analisados os parâmetros de tempo dos passos, a velocidade da marcha e a variação angular do joelho. Os resultados do presente estudo sugerem que a massa das mochilas não ultrapasse o valor de 10% da massa corporal para crianças estudantes do ensino básico, o que está de acordo com a literatura científica, pois isto não acarreta alterações significativas nas variáveis cinemáticas avaliadas neste estudo (Flores, et al., 2006).

O estudo realizado por Silva (2014) consistia em analisar as repercussões biofísicas da locomoção de crianças pré-pubertárias com cargas às costas bem como as

implicações da utilização de mochilas escolares. Este estudo consistia em caminhar num tapete rolante, sem inclinação, a velocidades de 1,11 m.s-1, 1,38 m.s-1 e 1,67 m.s-1, durante 3 minutos com cargas relativizadas à massa corporal que correspondiam a 0%, 10% e 20%; sempre com a mesma mochila em alunos de faixa etária entre 6 anos e 12 anos. O transporte da carga foi efetuado numa mochila com duas alças que era colocada às costas e suportada por ambas as alças na cintura escapular. Este estudo permitiu afirmar que o transporte de mochila colocada às costas e suportada por ambas as alças na cintura escapular com cargas de 20 % da massa corporal tem repercussões biofísicas nas crianças pré-pubertárias (Silva, 2014).

2.5.3. Efeito da Mochila na Postura

Dos fatores de risco que contribuem para o aparecimento de curvas de escoliose, destaca-se a sobrecarga sobre a coluna vertebral, como as mochilas com material escolar, nas quais a maioria dos alunos carrega diariamente para a escola (Carvalho, 2004).

A um nível fisiológico e biomecânico a utilização da mochila está associada a alguns efeitos adversos para a saúde. Os efeitos do transporte de carga são diversos e têm sido examinados em crianças e adultos tendo influência na postura, mobilidade, marcha, atividade muscular, consumo energético e função pulmonar (Carvalho, 2004).

Estudos como os de Martelli e Traebert (2006) e Contri *et al.* (2009) apresentaram uma elevada incidência de problemas posturais em crianças e adolescentes, sendo as alterações posturais da coluna vertebral, como a hiperlordose, a hipercifose e a escoliose, as de maior prevalência. Estes autores citaram alguns fatores que interferem na postura dos alunos, como uso de mochilas pesadas, a fase de crescimento rápido, mobiliário inadequado, maus hábitos posturais e longos períodos em posição sentada (Martelli & Traebert, 2006; Contri, et al., 2009).

Martelli e Traebert (2006) acreditam que as alterações posturais relacionadas às posturas inadequadas são distúrbios anátomo-fisiológicos que se manifestam geralmente na fase da adolescência e pré-adolescência, pois é nessa fase que ocorre o pico de crescimento (Martelli & Traebert, 2006).

Hong e Cheung (2003) estudaram o comportamento cinemático da coluna vertebral durante o transporte de mochilas escolares de duas alças de ombros em crianças. Perante a realização do estudo, quando as cargas transportadas nas mochilas eram de 15% a 20%, verificaram uma maior inclinação do tronco no plano sagital. Contudo a marcha sem carga ou com carga de 10% não apresentavam inclinação significativa. A análise bidimensional aplicada foi reportada como sendo um fator limitativo para interpretar os movimentos que ocorrem em outros planos. As mochilas com uma massa de 15% e 20% aumentaram o esforço no dorso, alteraram a postura, trazendo desconforto e dores musculares nos ombros e dorso (Hong & Cheung, 2003).

Mackienzi *et al.* (2003) realizaram um estudo sobre a relação entre o transporte de mochilas escolares, deformações vertebrais e dores nas costas. Os autores afirmam que embora haja uma extensiva discussão na literatura científica sobre dores nas costas e deformidades vertebrais, relacionadas com o uso de mochilas pesadas, não há evidência de que deformidades estruturadas podem resultar do uso de mochilas, embora as alterações posturais tenham suporte científico. Porém as crianças que têm dores nas costas apresentam um risco elevado de as continuarem a ter quando forem adultos (Mackenzie, et al., 2003).

O equilíbrio também é afetado pelo peso transportado numa mochila escolar, segundo Clow *et al.* (2005) pois no seu estudo, realizado em raparigas, revelou que as crianças com escoliose idiopática apresentam um desequilíbrio maior quando transportam mochilas pesadas. Sustentando esta ideia, os conselhos de limite de peso das mochilas para as crianças normais não deveriam ser aplicáveis nas crianças com escoliose idiopática (Clow, et al., 2005).

Grimmer *et al.* (1999) realizaram um estudo com o objetivo de analisar os efeitos do peso da mochila sobre postura dos adolescentes. Para isso investigaram o ângulo craniovertebral como resposta ao transporte de mochilas escolares. Os alunos tinham idades entre os 12 e 18 anos e a postura dos alunos foi medida com e sem uso da mochila. Perante a análise dos resultados observou-se uma mudança significativa no ângulo craniovertebral em todas as idades, quando se compara a postura ereta sem mochila com a postura quando carregando uma mochila. Contudo a mudança incremental do ângulo craniovertebral não foi associada ao transporte de mochilas escolares (Grimmer, et al., 1999).

O transporte de mochilas escolares demasiadamente pesadas provoca alterações na postura dos indivíduos. Contudo apesar de existirem vários autores que confirmam isto, são necessários mais estudos para que se consiga determinar o limite de peso aconselhável da mochila e compreender as alterações posturais e problemas relacionados ao transporte de cargas (Jardim, 2013).

2.6. Análise Cinemática da Marcha Humana

A análise da marcha é a descrição, a medição e a avaliação sistemática de dados que caracterizam a locomoção humana (Silva, 2014).

A marcha humana é determinada por uma sequência de múltiplos episódios rápidos e complexos. Ao longo dos anos foram desenvolvidos recursos de registros e de análise do movimento cada vez mais sensíveis e precisos, uma vez que, devido à velocidade a que decorrem os múltiplos episódios, a observação clínica, a identificação de alterações dos fenómenos e a quantificação do seu grau de afastamento da normalidade é difícil (Silva, 2014).

A marcha devido à sua complexidade requer uma análise detalhada das mudanças de cada região anatômica em cada uma das fases e subfases do ciclo da marcha, de modo a estabelecer um diagnóstico e terapêutica mais adequada a cada paciente (Silva, 2014).

Em seguida serão apresentados alguns métodos usados pela biomecânica e que foram utilizados neste estudo: a termografia, a cinemática e a eletromiografia (EMG).

2.6.1. Termografia

O espectro infravermelho foi descoberto, em 1880, por William Herschel, durante a tentativa de encontrar novos filtros óticos que iria reduzir o brilho da imagem do sol em telescópios. Ao longo da experiência, Herschel descobriu também que os novos raios se comportavam de forma semelhante aos visíveis pois estes eram refletidos, refratados, absorvidos e transmitidos (Kylili, et al., 2014).

Seebeck induziu indiretamente o debate sobre a natureza do calor e da luz, com base em experiências realizadas com pequenos fluxos de corrente elétrica em circuitos

fechados de condutores metálicos dissimulados. O primeiro termopar foi produzido por Nobili com base no efeito termoelétrico. Herschel conseguiu desenvolver a primeira imagem térmica em 1840, utilizando a evaporação de um diferencial de película fina de óleo exposto a um padrão de calor (Kylili, et al., 2014).

Em 1880, Langley conseguiu um avanço significativo na história da radiação infravermelha por inventar o bolómetro, que é um aparelho capaz de medir diferenças de temperatura extremamente pequenas, marcando importantes melhorias na sensibilidade da deteção da radiação infravermelha e com estas descobertas estavam criadas as condições para o aparecimento da termografia (Kylili, et al., 2014).

A termografia infravermelha é o registo da distribuição da temperatura do corpo humano utilizando a radiação infravermelha emitida pela superfície do corpo, ou seja, a pele (Sanches, 2009).

Esta técnica permite a investigação e o diagnóstico médico a partir da análise das alterações da temperatura na superfície do corpo. A termografia é uma técnica não invasiva e sem contacto físico em que o objetivo é converter a energia térmica do espectro eletromagnético, não visível pelo olho humano e emitida pela superfície do corpo, através de uma câmara termográfica em impulsos elétricos que podem ser observados na forma de uma imagem colorida utilizando pseudo-cores ou em tons de cinza (Sanches, 2009).

A termografia pode ser também utilizada para visualizar as alterações da temperatura em determinadas regiões do corpo. Posto isto, a termografia é uma imagem médica que representa a distribuição da superfície cutânea do paciente (Sanches, 2009).

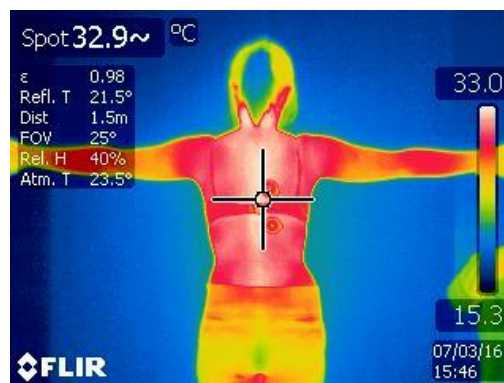


Figura 14. Exemplo de uma imagem termográfica

A termografia é ainda uma técnica pouco usada para analisar a marcha e o transporte de mochilas escolares. Os primeiros estudos do exercício físico com termografia infravermelha surgiram na década de 1970. Devido à redução dos custos de aquisição, aumento da mobilidade / portabilidade e aumento da resolução dos equipamentos, a utilização da termografia passa a ter um crescente interesse na análise da marcha (Rocha, et al., 2015).

Perante um estudo realizado, em que o objetivo era a avaliação da temperatura da pele durante o exercício físico, através da termografia infravermelha, foi possível observar que dependendo da duração e intensidade da atividade, a temperatura da pele tende a diminuir no início do exercício, sendo que, posteriormente a temperatura pode continuar uma curva descendente, nomeadamente quando o exercício for progressivo até níveis máximos e de curta duração. Pode, também, aumentar nas regiões musculares ativas do exercício quando este for mantido com intensidade constante ou duração média e longa. Não existe uma resposta homogênea da temperatura da pele entre as diferentes regiões corporais. Desta forma a termografia infravermelha pode ser um instrumento valioso para analisar tanto a resposta térmica local bem como a global da temperatura da pele nas diferentes formas de prática de exercício físico (Fernandes, et al., 2012).

Num outro estudo em que a termografia foi utilizada para analisar a marcha durante o transporte de mochilas nas costas, foi observado que o índice de gordura corporal tem uma grande influência na temperatura registada, uma vez que esta gordura dificulta a transferência (dissipação) de calor para o exterior do corpo, dificulta a condução da temperatura do interior do corpo até à pele e tem um efeito de homogeneização da temperatura na superfície corporal (Rocha, et al., 2015).

Para a utilização desta técnica é necessário uma câmara de infravermelhos, sendo que esta é um dispositivo avançado que produz uma sequência de imagens da distribuição térmica e é calibrado para medir o poder emissivo de superfícies numa área em que há várias gamas temperatura (Kylili, et al., 2014).

Tipicamente as câmaras de infravermelhos também podem conter detetores, que arrefecidos, são necessários para o funcionamento dos semicondutores que detetam a energia infravermelha proveniente do objeto alvo. A radiação emitida pelo alvo é focada pela ótica para o sensor infravermelho e o sinal da resposta elétrica é convertido numa

imagem digital. As diferentes cores da imagem correspondem à distribuição da temperatura na superfície alvo (Kylili, et al., 2014).

A termografia por infravermelhos, apesar de toda a tecnologia utilizada, apresenta algumas limitações: deve ser considerada a possibilidade de diversidade do resultado em função das diferentes câmaras de termografia por infravermelhos existentes no mercado, devem ser desenvolvidos *software* de análise de imagens termográficas adaptados a seres humanos de modo a que estes software sejam capazes de analisar imagens de forma mais rápida e um grande número de câmaras possui uma margem de erro de 2% sobre o valor de leitura, sendo necessário melhorar a sua precisão (Fernandes, et al., 2012).

Apesar destas limitações, a termografia por infravermelhos pode ser uma ferramenta importante para o entendimento da resposta térmica da pele durante o exercício (Fernandes, et al., 2012).

2.6.2. Cinemática

A cinemática consiste num conjunto de métodos que procura medir os parâmetros cinemáticos do movimento, isto é, posição, orientação, velocidade e aceleração. As câmaras de vídeo são o instrumento básico para medidas cinemáticas, pois registam a imagem do movimento e posteriormente através do *software* específico são calculadas as variáveis cinemáticas de interesse. Para o processamento de grandezas cinemáticas há ainda outros métodos. Entre eles destacam-se os métodos de medição direta utilizados para: medidas de tempo em que se utiliza cronómetros para a base de tempo, medidas de ângulos para a determinação da posição de segmentos com origem em eixos articulares com a ajuda do goniómetro e medidas de aceleração em que se utilizam acelerómetros que são transdutores que avaliam a quantidade de movimento pela posição de uma massa em deslocamento (Amadio, et al., 1999).

Alguns sistemas disponíveis no mercado utilizam “unidades de medição inercial”, inertial measurement units (IMUs), recorrendo ao uso de acelerómetros e giroscópios. São sistemas inerciais (sem recorrerem a câmara para registo de imagem) baseados nestes “sensores inerciais”, modelos biomecânicos e algoritmos de fusão de sensores. Esta tecnologia tem capacidade para medir translação, rotação, velocidade e aceleração.

Em teoria estes dispositivos podem ser utilizados em qualquer local, mesmo fora do laboratório e com qualquer condição de iluminação (Silva, 2014).

Ainda através da fotografia, da cinematografia e da cronofotografia, podemos registrar a imagem para o processamento de variáveis cinemáticas. Para todos estes procedimentos são necessárias lentes e outros instrumentos óticos para garantir a qualidade da imagem. Também requerem cuidados, como a distância do objeto à lente e o seu tamanho e a regulação da abertura do foco. Para a reconstrução das coordenadas do objeto a partir da imagem registada utilizam-se modelos em que são necessárias, além de referências geométricas e posições relativas das partes do corpo em função do tempo, também informações sobre as dimensões corporais obtidas através de dispositivos classificados nos modelos antropométricos (Amadio, et al., 1999).

Eram utilizadas câmaras para o processamento da imagem, baseadas em películas fotoquímicas ou fotoelétricas que permitem o registo de sequências de sinais elétricos numa base de tempo conhecida e que armazenam o registo em fitas magnéticas, o que caracteriza a videografia (Amadio, et al., 1999). Atualmente as câmaras fazem o registo digital das imagens.

A videografia é o processo mais frequente na análise cinemática. Existem dois tipos distintos de análises cinemáticas: as análises bidimensionais e as tridimensionais. Num primeiro ponto, os procedimentos metodológicos incluem, a filmagem de um objeto de calibração e do movimento em estudo, por câmaras colocadas num só plano (estudos bidimensionais) ou em diversos planos (estudo tridimensional) (Barbosa, 2010).

Posteriormente é utilizado um programa informático para a medição de movimento, no qual o principal objetivo é a criação de imagens animadas de modelos espaciais, isto é, de um modelo que mostre o indivíduo através de segmentos rígidos e articulados, correspondentes aos diferentes segmentos anatómicos. Através desse programa captar-se-ão os dados por meio de um procedimento manual ou automático de digitalização dos pontos de referência anatómica do indivíduo, em cada fotograma (Barbosa, 2010).

A partir de um objeto de calibração do tipo bidimensional ou tridimensional, de acordo com o tipo de estudo a efetuar, realizar-se-á o cálculo do fator escala, o qual permitirá a conversão das coordenadas do sistema informático em coordenadas reais. Após a digitalização das imagens, os dados serão tratados através de determinadas técnicas de filtragem. As informações obtidas serão corrigidas, aumentando a

fiabilidade dos resultados. No final, serão recolhidos os dados relevantes para o estudo sob a forma numérica, pictórica ou gráfica (Barbosa, 2010).

A marcha humana tem sido estudada de forma subjetiva por meio de observações visuais e é medida objetivamente, ao combinar tecnologia de medição avançada e modelação biomecânica. Com novos modelos e métodos em constante evolução, a análise da marcha é uma atividade contínua de pesquisa e desenvolvimento (Silva, 2014).

2.6.3. Eletromiografia - EMG

O movimento dos seres humanos é de alguma forma muito complexo de modo que a sua explicação tem provocado uma constante procura de conhecimento. Contudo a deteção e/ ou estimulação da atividade muscular é uma das mais antigas áreas onde essa pesquisa se tem centrado (Fernandes, et al., 2010).

Francesco Redi (1666) foi o primeiro cientista a mencionar que os músculos eram capazes de gerar eletricidade. Contudo foi Luigi Galvani (1780), como o investigador, que introduziu a demonstração inicial da “bioeletricidade”. Galvani demonstrou que, segundo Geddes e Hoff (1971) citado por Fernandes *et al.* (2010), o tecido muscular de alguns animais se contraía quando expostos a uma diversidade de fontes elétricas externas, podendo verificar a presença de correntes elétricas em tecidos vivos (Fernandes, et al., 2010).

Marey, no final do século XIX, introduziu a designação "eletromiografia" e fez o primeiro miograma, sendo considerado um dos pioneiros da biomecânica (Fernandes, et al., 2010).

A eletromiografia teve um incremento tecnológico significativo, entre 1940 e 1960, devido à utilização clínica e ao uso dos elétrodos de arame, os quais vieram reduzir a dor associada à sua implantação, permitindo experiências prolongadas no tempo. Posteriormente no ano de 1965, a maioria dos músculos humanos já tinha sido estudada, permitindo reconhecer padrões musculares numa variedade de atividades. De seguida foram muitas as experiências realizadas em animais que contribuíram para a compreensão da função muscular humana bem como conhecimentos importantes sobre as propriedades básicas do músculo-esquelético (Fernandes, et al., 2010).

De acordo com Clarys e Cabri (1993) citado por Fernandes *et al.* (2010), foi desde a 2ª Guerra Mundial que se estendeu o recurso à eletromiografia que atualmente desempenha um papel essencial em diferentes domínios científicos (Fernandes, et al., 2010).

Dos métodos utilizados pela Biomecânica para analisar as diferentes formas de movimento, a eletromiografia tem como finalidade o estudo da função muscular. Baseia-se num princípio estabelecido há mais de 200 anos por Galvani, o qual refere que um músculo-esquelético se contrai quando estimulado eletricamente e produz corrente elétrica quando se contrai voluntariamente (Fernandes, et al., 2010).

A eletromiografia indica o estímulo neuronal para o sistema muscular refletindo o sinal eletromiográfico da soma algébrica dos potenciais de ação das unidades motoras ativas, tornando-se muito importante para a modelação do sistema dinâmico neuromuscular e esquelético como primeiro parâmetro de controlo (Fernandes, et al., 2010).

Existem duas formas para recolher os sinais eletromiográficos: eletromiografia de profundidade e eletromiografia de superfície, traduzindo-se em registos eletromiográficos com significado distinto e, conseqüentemente, com utilização em áreas diversas. No entanto, em ambos os casos, o sinal eletromiográfico é captado por elétrodos (Fernandes, et al., 2010).

A eletromiografia de profundidade fundamenta-se na colocação de elétrodos de agulha ou arame no interior do músculo, em contacto direto com as fibras musculares, o registo obtido é resultado dos potenciais de ação de um conjunto de fibras musculares localizadas na proximidade do elétrodo de deteção. Os elétrodos utilizados neste método são mais seletivos. O potencial de ação recolhido não corresponde a uma unidade motora histológica, mas sim a uma soma de variações de potencial de um conjunto de fibras. Este método de recolha de sinal apresenta desvantagens, particularmente por não se conseguir obter uma representação da atividade global do músculo e por não permitir que ocorra deslocamento dos elétrodos aquando da contração muscular (Fernandes, et al., 2010)

A eletromiografia de superfície é um método não invasivo e de fácil execução, obtém-se através da colocação de elétrodos em contacto com a pele sobre o músculo que se pretende estudar. Neste método os potenciais das fibras ativas que ocorrem no

sarcolema são conduzidos pelos tecidos e fluidos envolventes até à superfície da pele, sendo captada a soma da atividade elétrica muscular (Fernandes, et al., 2010).

A eletromiografia de superfície possibilita uma análise global do comportamento dos músculos, sendo este método de fácil manuseamento e controlo para utilizador e de grande conforto para o executante (Fernandes, et al., 2010).

Na eletromiografia de superfície existem fatores que influenciam o sinal eletromiográfico. Esses fatores são divididos em dois grupos: extrínseco e intrínseco. Os fatores extrínsecos são aqueles que estão associados com a estrutura do eletrodo e a sua colocação sobre a superfície da pele no músculo. A configuração do eletrodo que descreve a área e a forma das superfícies de deteção, os quais determinam o número de unidades motoras ativas detetados em virtude de um número de fibras musculares na sua proximidade, e a distância entre as superfícies do eletrodo de deteção, o qual determina a largura de banda e a configuração do eletrodo diferencial pode influenciar o sinal. A localização do eletrodo em relação aos pontos motores no músculo também influencia as características de amplitude e frequência do sinal detetado (Luca, 1997) .

Os fatores intrínsecos podem ser do tipo fisiológico, anatómico e bioquímico relativamente às características do músculo. Ao contrário dos fatores extrínsecos, estes não podem ser controlados devido a limitações de conhecimento e tecnologia atual. O número de unidades motoras ativas em determinado momento da contração contribui para a amplitude do sinal detetado. O diâmetro da fibra influencia a amplitude e velocidade de condução da ação dos potenciais que constituem o sinal. A profundidade e a localização das fibras ativas dentro do músculo em relação às superfícies de deteção do eletrodo determina a filtragem espacial, e, conseqüentemente, a amplitude e frequência do sinal detetado. A quantidade de tecido entre a superfície do músculo e o eletrodo afeta a filtragem espacial do sinal. Assim, é importante ter um cuidado especial durante a avaliação eletromiográfica para que a mesma seja depois de fácil análise e compreensão (Luca, 1997).

Em condições normais para a criação do sinal eletromiográfico, o potencial de ação da fibra muscular resulta da propagação através de um neurónio motor que ativa todos os ramos desse neurónio que por sua vez ativa todas as fibras musculares de uma unidade motora. Quando a membrana pós-sináptica de um músculo fibroso é polarizada, a despolarização propaga-se em ambas as direções ao longo da fibra. Os potenciais de

ação das fibras musculares individuais representam a contribuição que cada fibra do músculo ativo tem no sinal detetado no local do eletrodo. O sinal detetado representa o somatório líquido dos potenciais de ação individuais, o que é designado por potencial de ação das unidades motoras (MUAP) (Basmajian & Luca, 1985). A eletromiografia permite detetar a atividade elétrica muscular de um determinado volume, facilitando a medição do potencial elétrico de um campo. O eletrodo irá medir o potencial elétrico correspondente à soma temporal e espacial das potenciais contribuições de todas as unidades motoras excitadas, devido à sobreposição de campos elétricos (Silva, 2014).

Para detetar o sinal eletromiográfico é conveniente uma configuração diferencial, isto é, duas superfícies de deteção são usadas e os dois sinais detetados são subtraídos antes de ser amplificado. Nesta configuração diferencial, a forma e a área das superfícies de deteção e a distância entre as superfícies de deteção são fatores importantes uma vez que afetam a amplitude e o conteúdo da frequência do sinal (Luca, 1997).

Este tipo de configuração diferencial permite a redução do ruído no sinal, bem como a redução da interferência da atividade de músculos vizinhos (cross-talk) sobre o sinal eletromiográfico porque os sinais elétricos que forem comuns às duas superfícies de deteção serão eliminados. O sinal final obtido é próximo do sinal eletromiográfico que se pretende registar (Silva, 2014).

Em biomecânica, três aplicações dominam o uso do sinal da eletromiografia: a sua utilização como um indicador do início da ativação do músculo, a sua relação com a força produzida por um músculo e a sua utilização enquanto indicador de fadiga (Luca, 1997).

3. Ensaaios Experimentais

3.1. Materiais e Equipamentos

O trabalho laboratorial decorreu no Laboratório de Tecnologia Biomédica da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Bragança.

Foi utilizada uma balança marca *InBody* modelo 230, com origem na Coreia do Sul, de modo a registar os valores da massa corporal, do índice de massa corporal e percentagem de gordura dos indivíduos que vão realizar os testes, como também foi utilizada para registar a massa das mochilas.

Utilizou-se uma passadeira rolante da marca BH Fitness, com origem em Espanha, para a marcha.

De modo a gravar as imagens dos testes realizados, utilizou-se uma câmara de vídeo da marca SONY, modelo DCR-PC 120E, com origem no Japão.

Para o estudo da eletromiografia utilizou-se o BITalino, Figura 15, que é um dispositivo desenvolvido por elementos do Instituto Superior Técnico (IST) e do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL) em parceria com o Instituto de Telecomunicações (IT). Consiste num sistema de sinais vitais, modular e de baixo custo com base na plataforma de *hardware* Arduino (Alves, et al., 2013; Guerreiro, et al., 2013; Silva, 2014).

Este sistema é composto por diversos sensores fisiológicos, que permitem ao utilizador a recolha de diversos tipos de sinais, nomeadamente sensores de Electrocardiografia (ECG), Electromiografia (EMG), Atividade Eletrodermal (EDA), e Acelerometria (ACC). Além destes sensores possui um Sensor de Luz (LUX) e um Díodo Emissor de Luz (LED) que funciona como atuador e permite a sincronização com outros equipamentos (como um ecrã de computador ou uma câmara de vídeo) (Silva, et al., 2014).

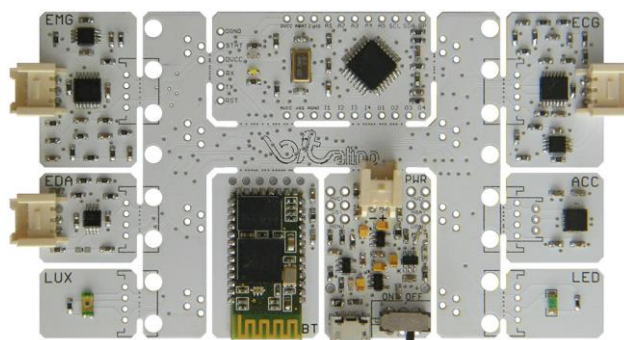


Figura 15. BITalino placa de aquisição de sinais vitais (Silva, et al., 2014)

O BITalino é um sistema de oito canais com uma frequência de amostragem 1000 Hz e um conversor analógico de 4 canais a 10 bits e 2 canais a 6 bits. O registo digital do sinal EMG foi executado no *software OpenSignals (r)evolution* do BITalino, Figura 16, que já realiza uma filtragem parcial recorrendo a um filtro passa-baixo. Foram utilizados elétrodos pré-gelificados da marca BITalino.

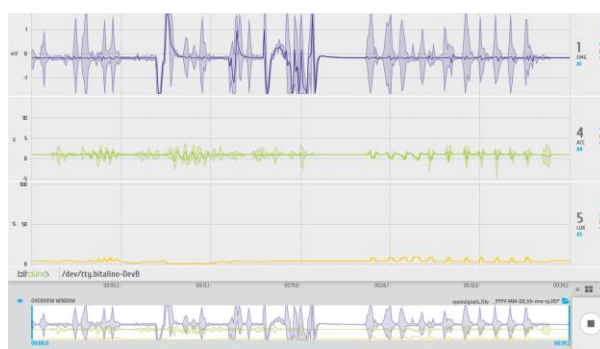


Figura 16. Visualização de três canais - intervalo de tempo completo

O próprio programa procedeu a uma análise quantitativa que deve seguir as seguintes etapas: filtragem digital, retificação, suavização, filtragem passa-baixo e o cálculo da raiz média quadrada (RMS).

- Filtragem digital

Esta técnica consiste em submeter a curva em bruto a um filtro que suprima as oscilações de frequências acima e abaixo de determinados valores. Esses valores variam consoante os objetivos do estudo, da tarefa a estudar e/ou das condições metodológicas (Correia & Mil-Homens, 2004).

- Retificação

A retificação permite obter o valor absoluto do sinal, isto é, consiste em transformar uma curva com valores positivos e negativos de média igual a zero, numa curva de valores absolutos, todos positivos (Correia, et al., 1998).

- Suavização

A suavização é a forma de reduzir a variabilidade que caracteriza o sinal de EMG e consiste em eliminar as variações muito bruscas dos valores de amplitude do sinal retificado, através da suavização da curva que pode ser obtida de forma analógica ou digital (Basmajian & Luca, 1985). De modo a eliminar essas variações utilizam-se filtros de baixas frequências (Nigg & Herzog, 1994).

- Filtragem passa-baixo

A determinação da envolvente da curva (Linear Envelope) é uma outra técnica de suavização. Este procedimento consiste na aplicação de um filtro passa-baixo à curva retificada pelo mesmo valor de frequência utilizado na retificação, que deverá estar entre os 8 e os 10 Hz (Correia & Mil-Homens, 2004).

- Raiz do valor quadrático médio - Root Mean Square

A raiz quadrada da média permite obter informações acerca da amplitude do sinal. Corresponde à raiz quadrada da potência média do sinal EMG para um determinado período de tempo. É um excelente indicador da magnitude do sinal (Nigg & Herzog, 1994). O RMS, equação (1), é um dos parâmetros mais utilizados para medir a amplitude do sinal de EMG, sendo que este não precisa de retificação prévia (Luca, 1997).

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=0}^n x_i^2} \quad (1)$$

Onde:

RMS - Raiz do valor quadrático médio

n - Tamanho da janela temporal

x_i - Valor da função

Para o estudo da termografia utilizou-se uma câmara marca FLIR, modelo T365, Figura 17, com a origem nos EUA. Para o registo da humidade relativa (HR) e da temperatura utilizou-se um *data logger* da marca Lascar.



Figura 17. Câmara FLIR T365

O *software* utilizado para analisar a cinemática foi o *Kinovea* que permite, além de outras operações, visualizar os vídeos com maior detalhe e fazer marcações de ângulos.

3.2. População em Estudo

De modo a analisar a marcha através das técnicas da eletromiografia, termografia e cinemática, foi utilizada a amostra que a seguir se apresenta e corresponde aos elementos que se disponibilizaram para colaborar até final dos ensaios. A amostra foi constituída por 9 adultos que frequentavam o Instituto Politécnico de Bragança, 4 do sexo feminino e 5 do sexo masculino, sem qualquer hábito de prática desportiva e sem treino inicial em marcha no tapete rolante antes dos ensaios. As características de cada individuo necessárias para o estudo, como a idade, a massa corporal, o IMC e a percentagem de gordura, constam na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização da amostra

	Idade [anos]	Massa Corporal [kg]	IMC [kg/m²]	Gordura [%]
Média	22.89	72.68	23.89	15.01
Desvio Padrão	1.17	13.25	2.71	5.78

3.3. Procedimento

Após serem registadas as características da amostra, foram pesadas as mochilas para se poder realizar os testes. A massa das mochilas para cada indivíduo corresponde a 10% da massa corporal, sendo que essa massa foi dividida pelas duas mochilas, 7% na mochila de trás e 3% na mochila da frente, de forma a simular as *double backpack*. Os valores da massa de cada mochila para cada indivíduo podem ser consultados na Tabela 2.

Tabela 2. Peso das mochilas usado por cada indivíduo

	Mochila da frente	Mochila de trás
	[kg]	[kg]
Indivíduo A	1.800	4.200
Indivíduo B	2.496	5.824
Indivíduo C	1.617	3.773
Indivíduo D	1.770	4.130
Indivíduo E	2.499	5.831
Indivíduo F	2.100	4.900
Indivíduo G	2.079	4.851
Indivíduo H	2.562	5.978
Indivíduo I	2.700	6.300

Cada indivíduo andou a uma velocidade auto selecionada uma vez que nem todos os indivíduos andam com a mesma velocidade. Por isso, cada um andou a uma velocidade à qual se sentia confortável, sendo que as velocidades de cada indivíduo podem ser observadas na Tabela 3.

Tabela 3. Valor da velocidade

	Velocidade	Velocidade
	[km/h]	[m/s]
Indivíduo A	4.0	1.11
Indivíduo B	5.0	1.39
Indivíduo C	3.6	1.00
Indivíduo D	4.0	1.11
Indivíduo E	5.0	1.39
Indivíduo F	3.0	0.83
Indivíduo G	4.0	1.11
Indivíduo H	5.0	1.39
Indivíduo I	5.0	1.39

Cada indivíduo realizou três ensaios, com duração de cinco minutos, a andar na passareira. No primeiro ensaio os indivíduos andaram sem mochila. No segundo ensaio

os indivíduos andaram com uma mochila em que a carga desta correspondia a 10% da massa corporal. No terceiro ensaio os indivíduos andaram na passarela com duas mochilas em que a carga total correspondia aos 10% da massa corporal, sendo essa massa distribuída pelas duas mochilas, ou seja, a carga da mochila de trás correspondia a 7% e a carga da mochila da frente correspondia a 3%. Entre cada repetição, o intervalo de repouso foi de 60 minutos.

A câmara foi colocada na parte lateral da passarela rolante, pois durante todo o procedimento os indivíduos foram filmados no plano sagital, visto ser o ângulo selecionado para avaliar a postura nos indivíduos. Como só se iria utilizar um plano de filmagem optou-se por procurar variações no plano sagital.

Na análise termográfica, como já foi descrito anteriormente, foi utilizada uma câmara da marca FLIR e um *data logger*. A recolha dos dados termográficos foi efetuada a dois metros de cada indivíduo na parte anterior e posterior do tronco. De seguida foi tirada uma fotografia antes do exercício ($t=0$ min) e duas após o exercício sendo que uma foi após andar cinco minutos ($t=5$ min) e outra depois de dois minutos de descanso ($t=7$ min). Através do *data logger* foi registada a temperatura do laboratório bem como a humidade relativa.

Na análise cinemática foi filmado o último minuto de marcha de cada indivíduo nos três ensaios. As filmagens foram realizadas com uma câmara de vídeo marca SONY tal como já foi descrito anteriormente sendo que foi mantida a uma distância de três metros da passarela rolante. A análise das imagens foi efetuada através do *software Kinovea*. De seguida procedeu-se à determinação dos ângulos entre os segmentos articulares, o ângulo α correspondeu ao primeiro toque do calcanhar com o chão e a horizontal, o ângulo β correspondeu ao segmento entre a projeção da linha articular do joelho e o trocânter maior do fémur com a horizontal e o ângulo σ correspondeu ao segmento entre o trocânter maior do fémur e o acrómio também com a horizontal, durante o período descrito anteriormente. Para cada indivíduo, foi medido o ângulo quando este anda sem mochila, com uma mochila e com duas mochilas. Para cada ângulo articular (α , β , σ) fizeram-se três medições no início e no fim de um minuto de filmagens das quais se obteve a média aritmética.

Para a aquisição do sinal da eletromiografia recorreu-se ao sistema BITalino com o registo do sinal da eletromiografia no *software OpenSignals r(evolution)* como já foi descrito anteriormente. Para a montagem do equipamento procedeu-se à preparação da pele para a colocação dos elétrodos superficiais nos grupos musculares correspondentes ao músculo eretor da coluna e ao músculo transverso abdominal. Optou-se pela análise destes músculos, pois de acordo com a literatura Montmans *et al.* (2006), correspondem a dois dos músculos mais solicitados durante o transporte de carga de acordo com a literatura (Motmans, *et al.*, 2006). Para a colocação dos elétrodos foi consultado o atlas dos músculos (Konrad, 2005).

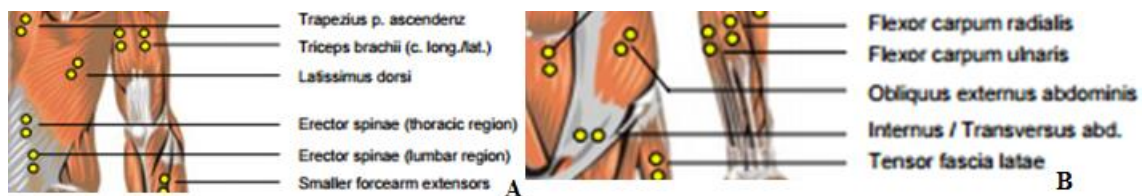


Figura 18. Posicionamento dos elétrodos: A - músculo eretor da coluna e B - músculo transverso abdominal

Após a colocação dos elétrodos, Figura 18, foi testado o sinal obtido. Para analisar da melhor forma o registo eletromiográfico dos dois músculos, durante os cinco minutos em que cada indivíduo andava na passadeira sem mochila, com uma mochila e com duas mochilas, foram selecionadas três janelas temporais no primeiro e no último minuto, correspondendo cada janela a um ciclo de marcha para de seguida ser calculada a média aritmética. A determinação de um ciclo de marcha foi determinada com o auxílio do sinal proveniente do acelerómetro.

Capítulo 4

4. Resultados e Discussões

4.1. Estudo Termográfico

Após a análise das imagens com o *software* “FLIR QuickReport, versão 1.2 SP2”, foram registadas a média das temperaturas, a temperatura máxima e a temperatura mínima na frente e nas costas de cada indivíduo, para as diferentes velocidades e cargas. Para uma melhor análise dividiu-se em duas secções. A secção 1 (Ar 1) é referente à parte superior do tronco enquanto que a secção 2 (Ar 2) é referente à parte inferior do tronco, tanto na parte da frente como na parte de trás. O registo das temperaturas, Figura 20, foi realizado de igual forma para todos os indivíduos.

A ordem de execução das tarefas foi sempre a mesma, respeitando o procedimento anteriormente definido.

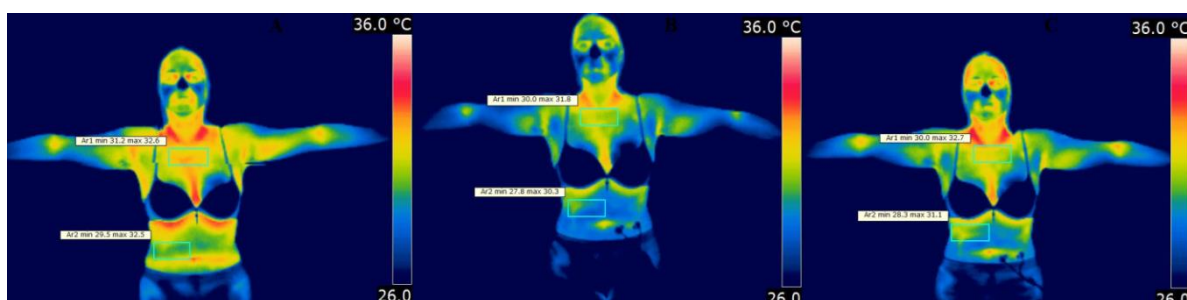


Figura 19. Registo da temperatura mínima e máxima do indivíduo A sem mochila na frente: A - $t=0\text{min}$, B - $t=5\text{min}$, C - $t=7\text{min}$

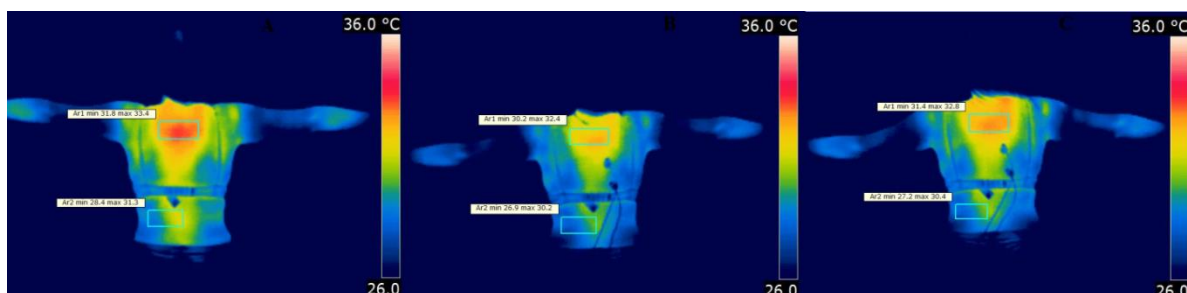


Figura 20. Registo da temperatura mínima e máxima do indivíduo A sem mochila nas costas: A - $t=0\text{min}$, B - $t=5\text{min}$, C - $t=7\text{min}$

As imagens do registo das temperaturas do indivíduo A quando anda com mochila e com duas mochilas, bem como as imagens dos restantes indivíduos, encontram-se no Anexo A.

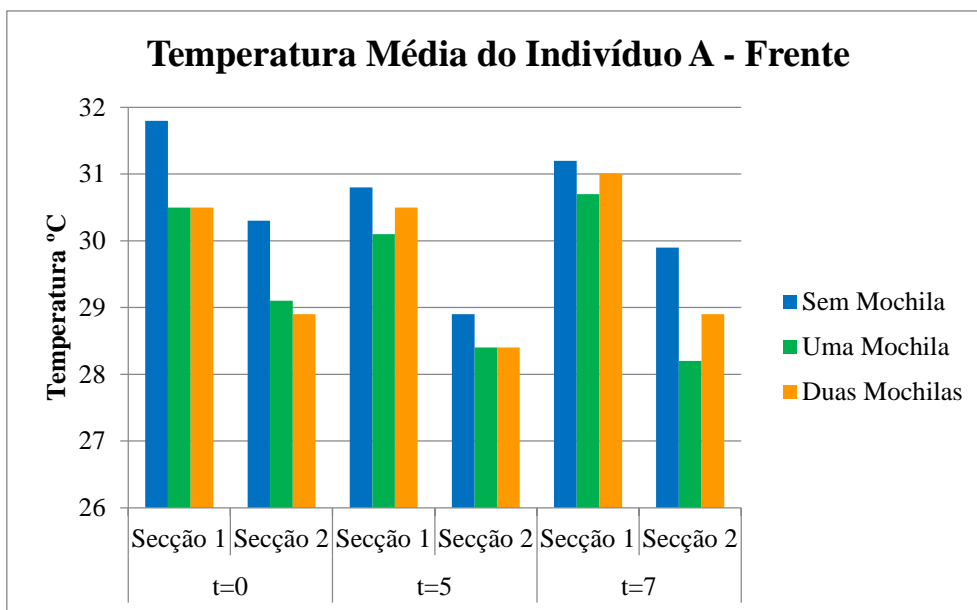


Figura 21. Temperatura média do indivíduo A - Frente

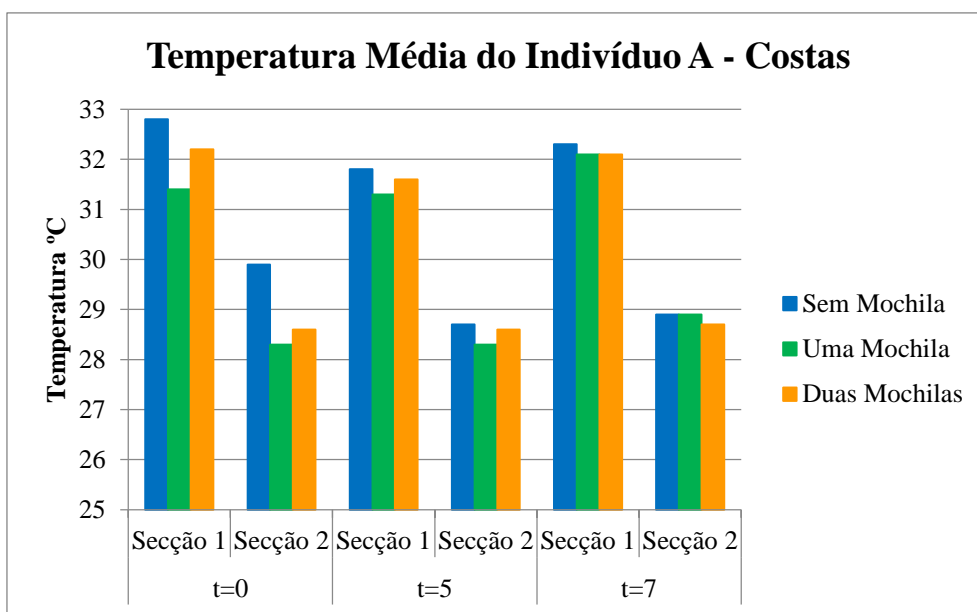


Figura 22. Temperatura média do indivíduo A - Costas

Na Figura 21, observou-se na que na secção 1 em t=5min a temperatura média do indivíduo A apenas diminui em relação a t=0min quando este anda sem mochila e com uma mochila. Fazendo ainda a comparação ente t=0min e t=5min, na secção 2 em

t=5min verificou-se que a temperatura diminui nas três situações. Ao comparar as secções em t=5min e t=7min, pode ser possível concluir que em t=7min na secção 1 a temperatura aumenta quando anda sem carga e com carga. Na secção 2 em t=7min, a temperatura aumenta apenas quando anda sem mochila e com duas mochilas.

Na Figura 22, verificou-se que a temperatura do indivíduo A diminui apenas na secção 1, em t=5min, quando este anda sem mochila e com duas mochilas em relação a t=0min. Na secção 2 observou-se que a temperatura diminui apenas quando o individuo anda sem mochila pois quando anda com uma e com duas mochilas a temperatura é praticamente igual. Em t=7min, a temperatura aumenta nas três situações quer na secção 1 quer na secção 2 em relação a t=5min.

Assim, é possível dizer que dependendo da secção analisada é que é possível afirmar se compensa ou não ao individuo andar com uma ou com duas mochilas. Na Figura 21 observou-se que tanto na secção 1 e secção 2 em t=7min, a temperatura do indivíduo A ao andar com duas mochilas e sem mochila é bastante semelhante, ou seja, quando o peso está distribuído nas duas mochilas o esforço é menor, estando a temperatura mais próxima quando o individuo não transporta carga, o que vai de encontro com o esperado. Já na Figura 22, em t=7min, pode ser observado que na secção 1 a temperatura do indivíduo A ao andar com uma e com duas mochilas é praticamente igual e na secção 2 a temperatura do indivíduo A ao andar com uma e sem mochila é praticamente a mesma.

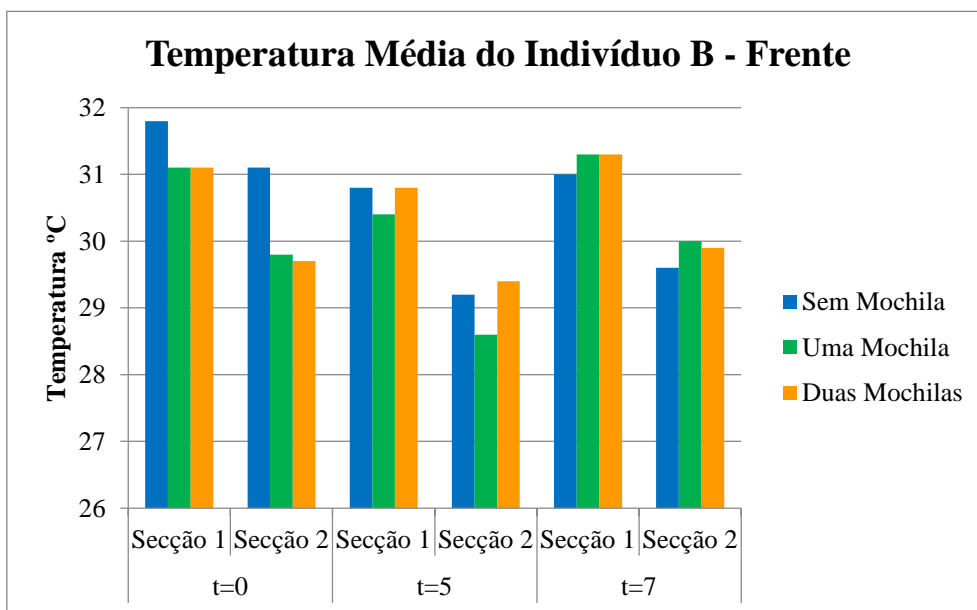


Figura 23. Temperatura média do indivíduo B - Frente

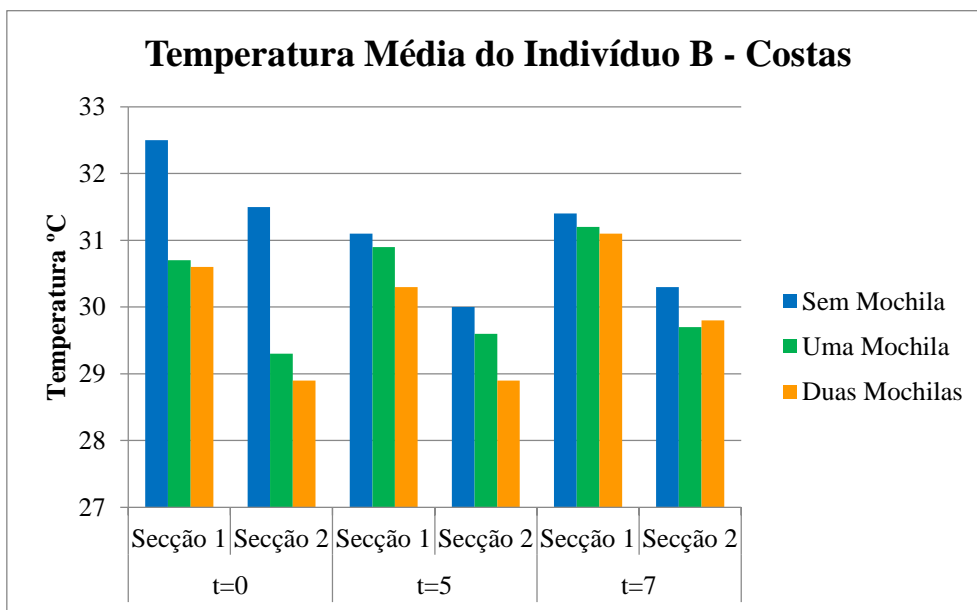


Figura 24. Temperatura média do indivíduo B - Costas

Ao analisar a Figura 23, é possível observar que a temperatura do indivíduo B diminuiu em t=5min nas três situações (sem mochila, com uma mochila e com duas mochilas) em ambas as secções em relação a t=0min. Em t=7min, e comparativamente a t=5min, verificou-se que a temperatura do indivíduo B aumenta em ambas as secções quando o indivíduo anda sem mochila, com uma mochila e com duas mochilas.

Na Figura 24, foi possível ver que a temperatura em t=5min do indivíduo B diminuiu apenas quando anda sem mochila e com duas mochilas na secção 1 em relação a t=0min. No caso da secção 2, verificou-se que a temperatura apenas diminuiu quando o indivíduo B anda sem mochila. Em t=7min verificou-se que a temperatura em ambas as secções em aumenta quando o indivíduo anda sem mochila, com uma mochila e com duas mochilas.

Ao analisar a secção 1 e 2 em t=7min, na Figura 23 e 24, verificou-se que em ambas as secções a temperatura do indivíduo B ao andar com uma mochila e com duas mochilas é praticamente a mesma.

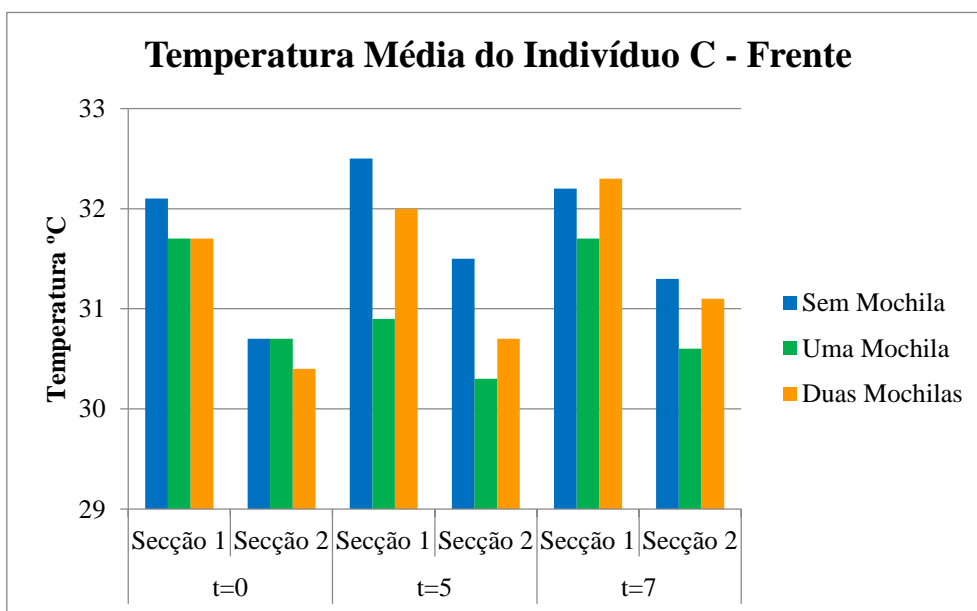


Figura 25. Temperatura média do indivíduo C - Frente

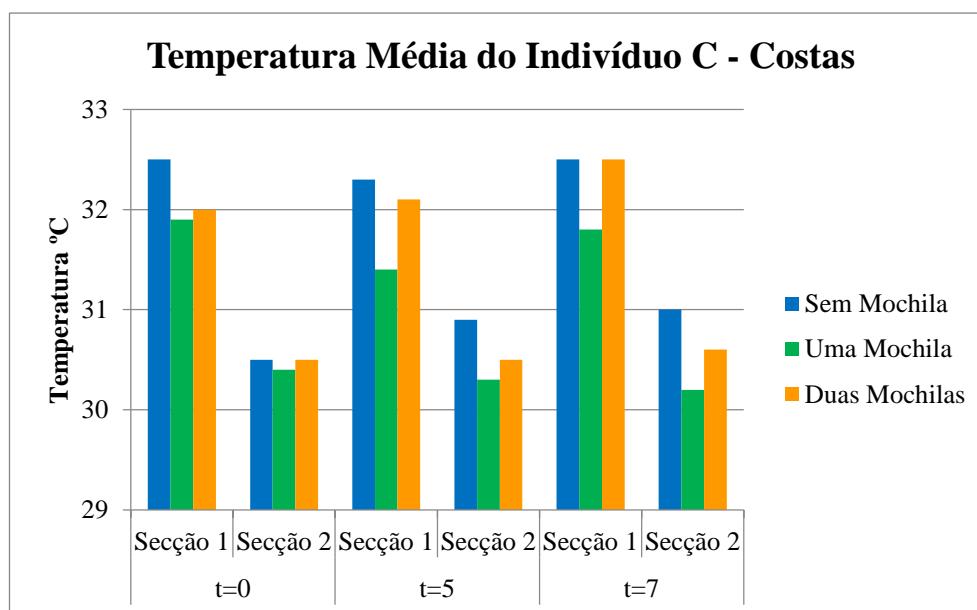


Figura 26. Temperatura média do indivíduo C - Costas

Como pode ser visto na Figura 25, perante os valores da temperatura média na parte da frente do indivíduo C, observou-se que a temperatura na secção 1 e secção 2 em t=5min diminui apenas quando o indivíduo anda com uma mochila em relação a t=0min. Em t=7min verificou-se que a temperatura do indivíduo diminui apenas quando anda sem mochila em relação a t=5min.

É possível observar na Figura 26, que na secção 1 a temperatura do indivíduo diminui apenas quando anda com duas mochilas enquanto que na secção 2 a

temperatura diminui apenas quando anda sem mochila em relação a $t=0$ min. Em $t=7$ min na secção 1 verificou-se um aumento da temperatura nas três situações enquanto que na secção 2 a temperatura manteve-se igual relativamente a $t=5$ min.

Ao analisar as duas secções na Figuras 25 e 26, observou-se que, em ambas as secções, em $t=7$ min a temperatura do indivíduo C quando anda com duas mochilas e sem mochila é muito próxima.

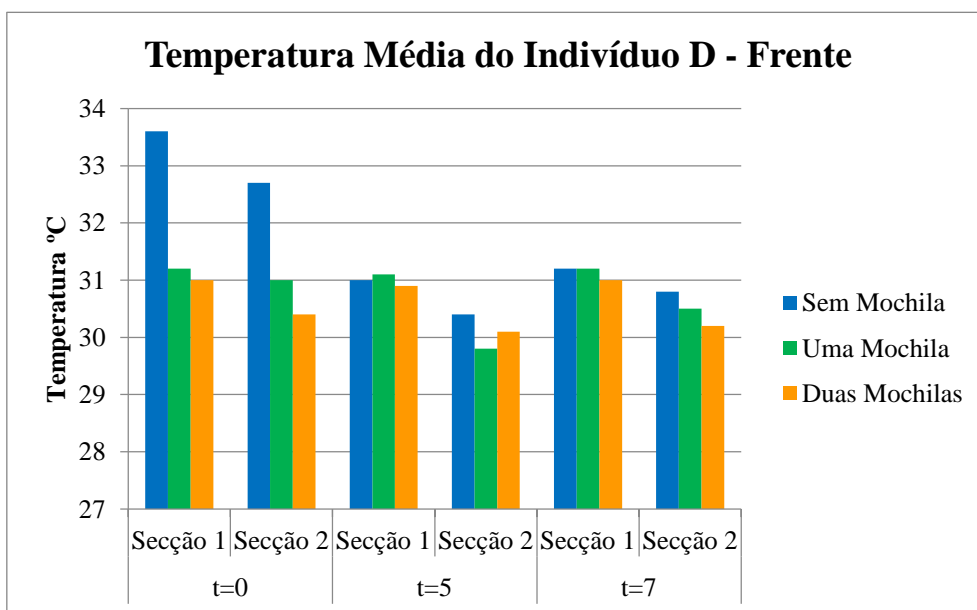


Figura 27. Temperatura média do indivíduo D - Frente

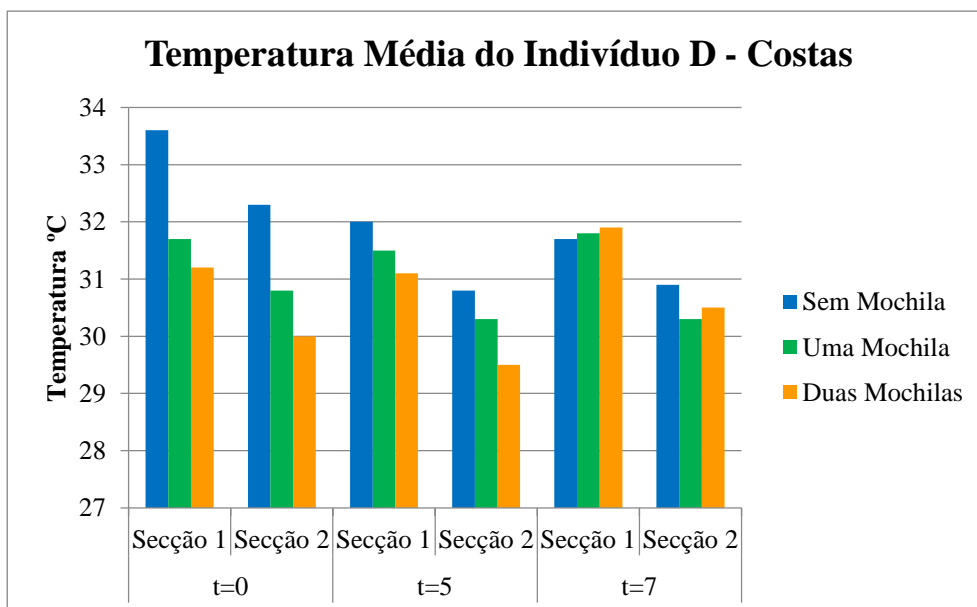


Figura 28. Temperatura média do indivíduo D - Costas

No caso do indivíduo D, nos dois casos das figuras 27 e 28, verificou-se que a temperatura em $t=5\text{min}$ na secção 1 apenas diminui quando anda sem mochila em relação a $t=0\text{min}$, enquanto que na secção 2 houve uma diminuição da temperatura nas três situações. Ao comparar as temperaturas em $t=5\text{min}$ e $t=7\text{min}$, observou-se que em $t=7\text{min}$ não há um aumento significativo da temperatura.

Ao analisar a secção 1 e secção 2, na Figura 27, em $t=7\text{min}$, verificou-se que a temperatura do indivíduo D ao andar com uma mochila e sem mochila é muito semelhante. Na Figura 28, em $t=7\text{min}$, observou-se que a temperatura do indivíduo na secção 1 quando anda com uma mochila é praticamente igual aquando anda sem mochila enquanto que na secção 2 a temperatura do indivíduo quando anda com duas mochilas é próxima aquando anda sem mochila.

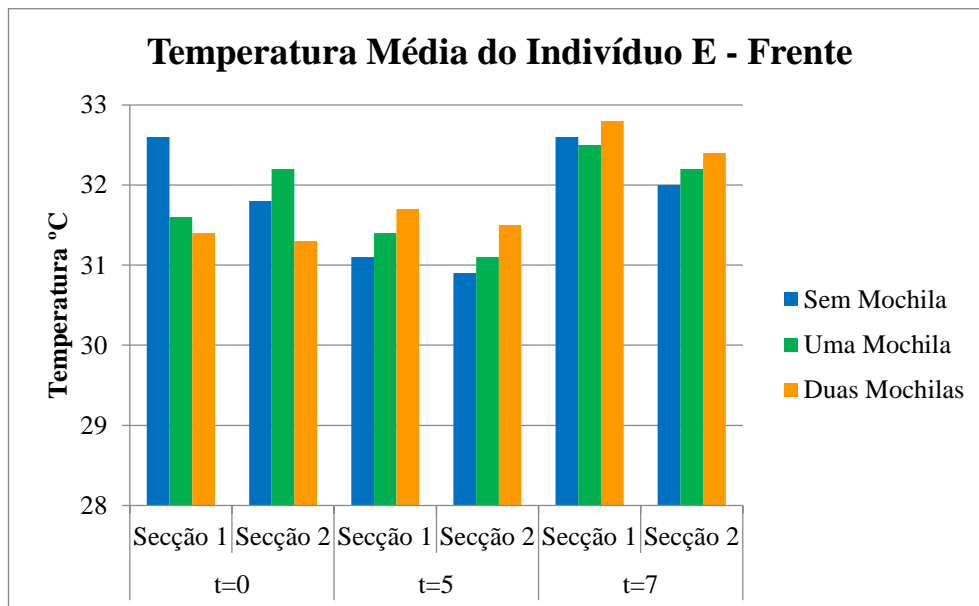


Figura 29. Temperatura média do indivíduo E - Frente

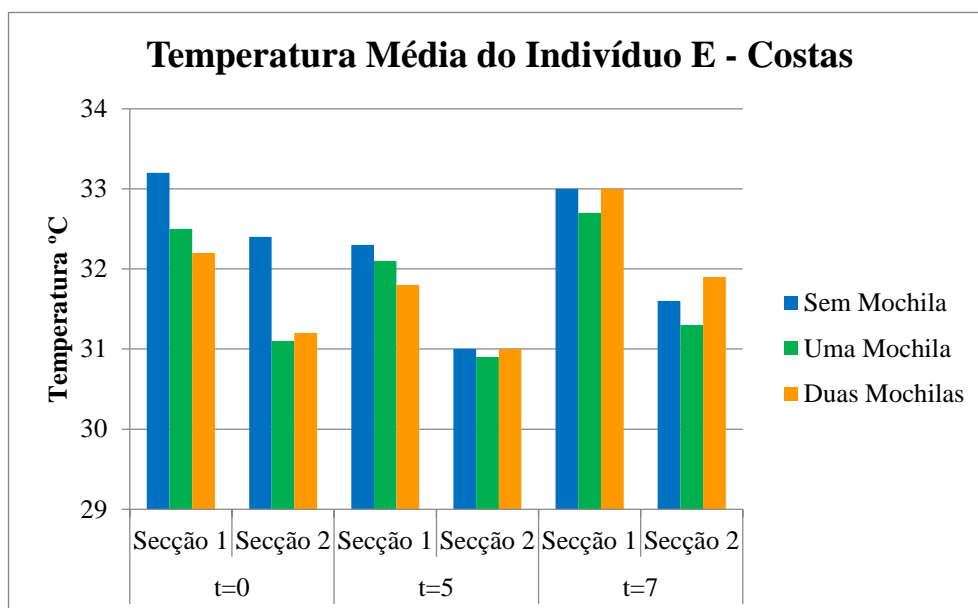


Figura 30. Temperatura média do indivíduo E - Costas

Ao analisar a Figura 29, foi possível observar que a temperatura diminuiu em $t=5$ min quando o indivíduo E anda sem mochila e com uma mochila em ambas as secções em relação a $t=0$ min. Porém a Figura 30 verificou-se que em ambas as secções a temperatura do indivíduo em $t=5$ min diminuiu quando anda sem mochila, com uma mochila e com duas mochilas.

Em $t=7$ min observou-se, na Figura 29 e 30, que a temperatura do indivíduo em ambas as secções nas três situações aumenta em relação a $t=5$ min.

Na Figura 29 em $t=7$ min, verificou-se que em ambas as secções é mais vantajoso andar com uma mochila uma vez que a temperatura quando o indivíduo E anda sem mochila e com uma mochila é muito semelhante. Na Figura 30 já não aconteceu o mesmo pois na secção 1 a temperatura do indivíduo E quando anda com duas mochilas e sem mochila é praticamente a mesma, contudo na secção 2 a temperatura do indivíduo E quando anda com uma mochila e com duas é parecida com a temperatura quando o indivíduo anda sem mochila.

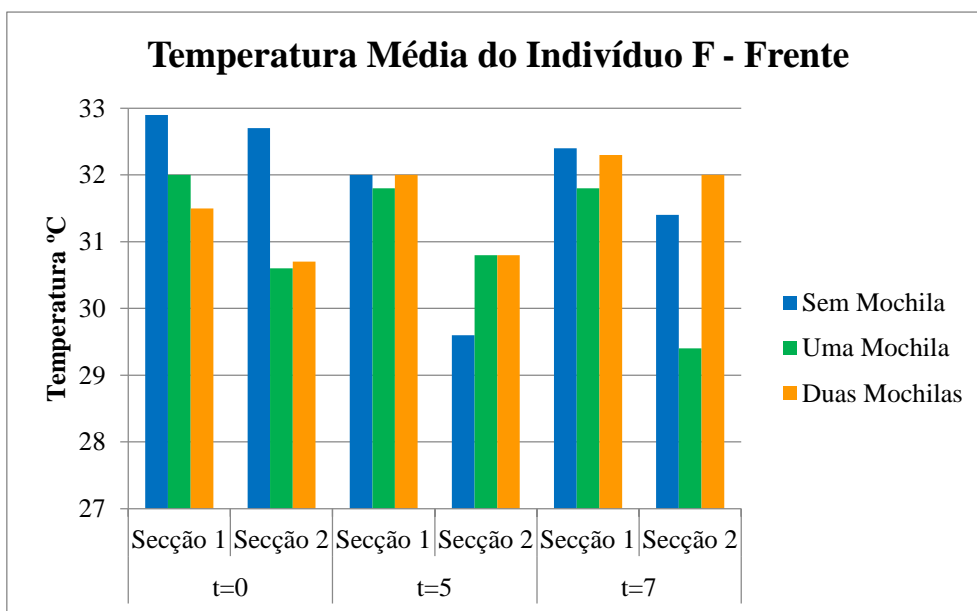


Figura 31. Temperatura média do indivíduo F - Frente

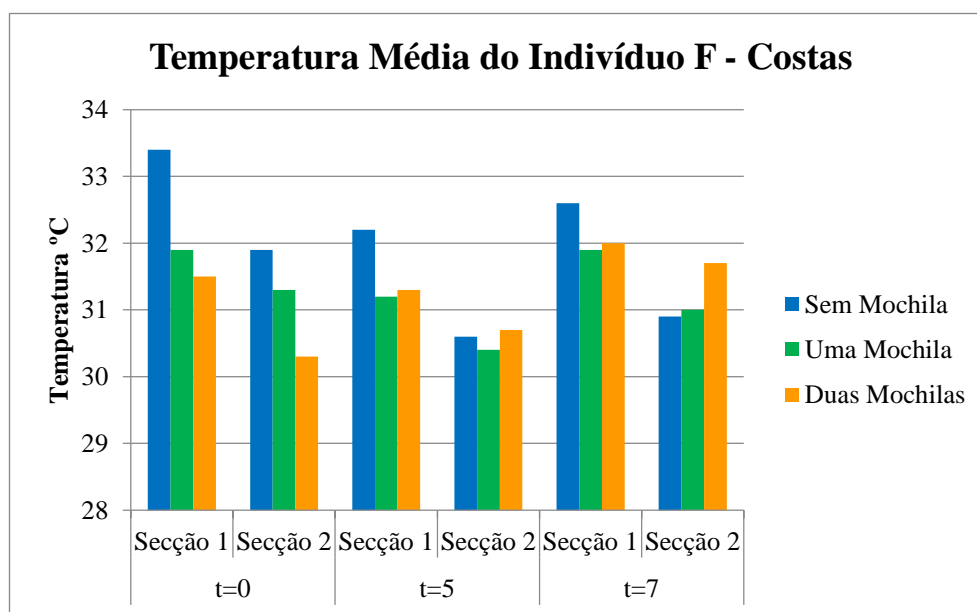


Figura 32. Temperatura média do indivíduo F - Costas

Para o indivíduo F, é possível observar pela Figura 31, que na secção 1 a temperatura em t=5min diminui apenas quando anda sem mochila e com uma mochila em relação a t=0min. Na secção 2 a temperatura do indivíduo F apenas diminui quando anda sem mochila. Em t=7min, comparando com t=5min, verificou-se um aumento da temperatura após o exercício na secção 1 porém, na secção 2, verificou-se que há um aumento da temperatura apenas quando anda sem mochila e com duas mochilas.

Na Figura 32, em ambas as secções, observou-se uma diminuição da temperatura do indivíduo F em t=5min, em comparação a t=0min. Ao relacionar t=5min com t=7min, em ambas as secções houve um aumento da temperatura após o exercício para t=7min.

Na secção 1 e secção 2, na Figura 31, observou-se que a temperatura do indivíduo F quando anda sem mochila e com duas mochilas é mais semelhante do que quando anda com uma mochila. Na Figura 32, na secção 1 verificou-se que a temperatura do indivíduo quando anda com uma mochila e com duas mochilas é praticamente a mesma, contudo na secção 2 quando o indivíduo anda com uma mochila e sem mochila a temperatura é praticamente igual.

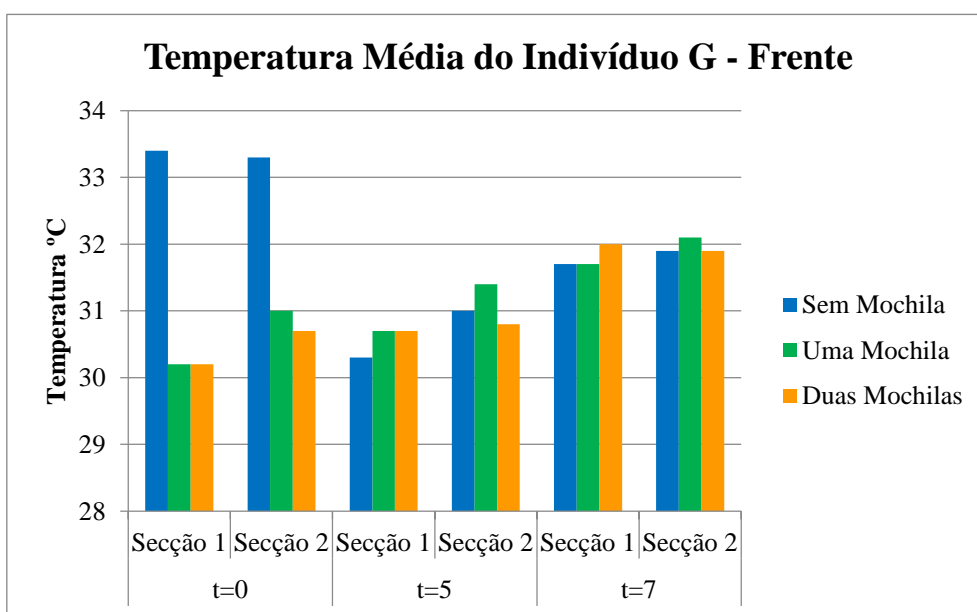


Figura 33. Temperatura média do indivíduo G - Frente

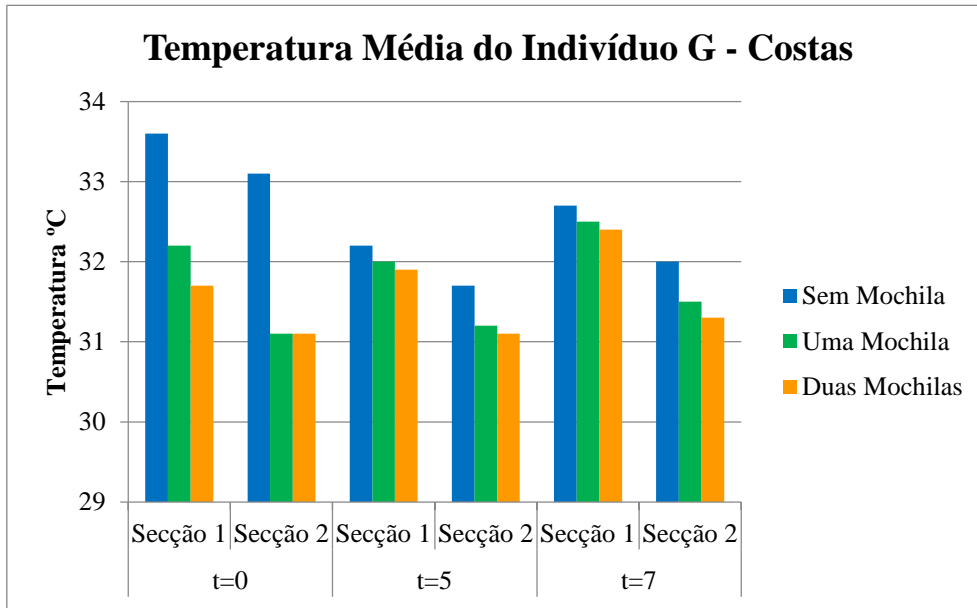


Figura 34. Temperatura média do indivíduo G - Costas

Na Figura 33, em ambas as secções verificou-se que a temperatura do indivíduo G em t=5min quando anda com uma mochila e com duas mochilas é superior do que a temperatura nas mesmas situações em t=0min. Na Figura 34 o mesmo aconteceu em ambas as secções.

Em t=7min, na Figura 33 e 34, verificou-se que houve um aumento da temperatura em ambas as secções após o exercício.

Ao analisar as secções 1 e 2 na Figura 33 em t=7min verificou-se que na secção 1 a temperatura do indivíduo quando anda sem mochila e com uma mochila é praticamente igual. Porém na secção 2 a temperatura quando o indivíduo anda com duas mochilas e sem mochila é muito semelhante. Na Figura 34 verificou-se que em ambas as secções a temperatura é mais semelhante quando anda com uma mochila e sem mochila.

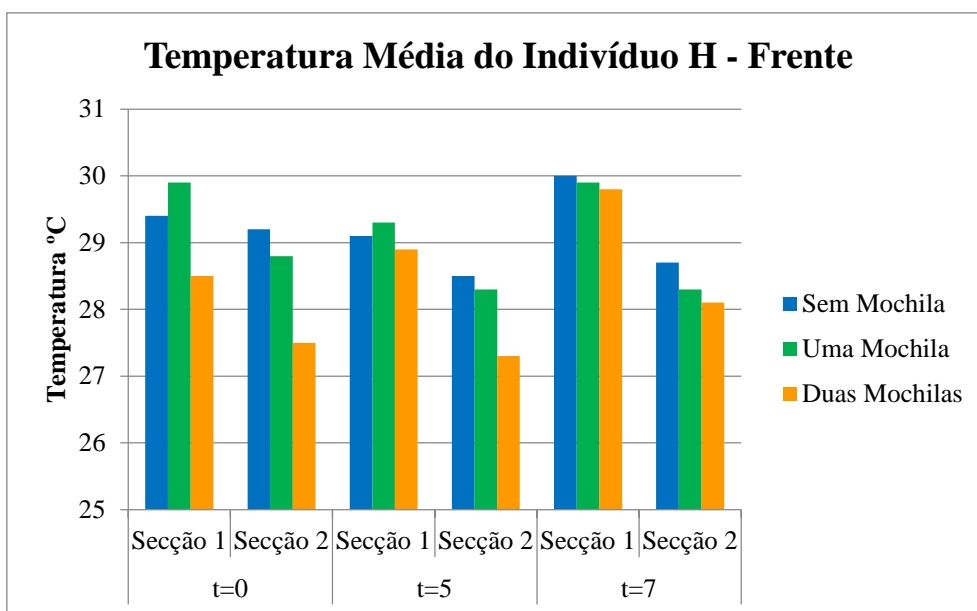


Figura 35. Temperatura média do indivíduo H - Frente

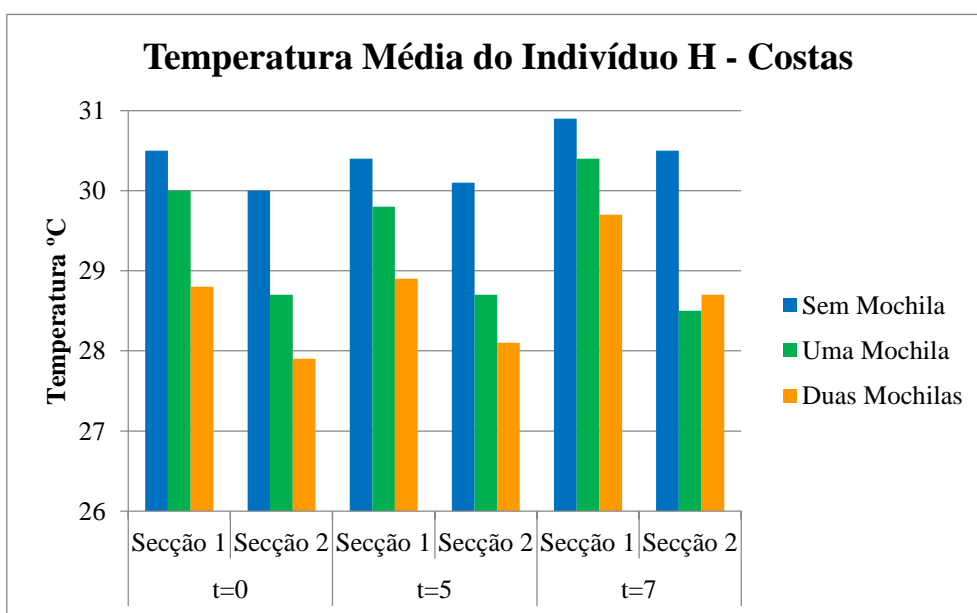


Figura 36. Temperatura média do Indivíduo H - Costas

Na Figura 35 verificou-se que a temperatura do indivíduo H em t=5min diminui apenas quando anda com uma mochila e sem mochila em ambas as secções em relação a t=0min. Na Figura 36 observou-se que a temperatura em t=5min na secção 1 diminui quando o indivíduo anda sem mochila e com uma mochila enquanto que na secção 2 diminui quando anda sem mochila e com duas mochilas em relação à sua temperatura inicial.

Após o exercício em $t=7\text{min}$ verificou-se a temperatura aumenta tanto na frente como nas costas, Figura 35 e 36, na secção 1 quando o indivíduo anda sem mochila, com mochila e com duas mochilas. Porém na secção 2 a temperatura aumenta quando anda com duas mochilas e sem mochila.

Ao analisar a Figura 35, em $t=7\text{min}$, observou-se na que na secção 1 a temperatura do indivíduo quando anda com uma mochila e com duas mochilas é praticamente igual. Contudo na secção 2 o mesmo não se verificou pois a temperatura do indivíduo quando anda se mochila e com uma é muito próxima. Na Figura 36, em $t=7\text{min}$, verificou-se na secção 1 que a temperatura do indivíduo quando anda com uma mochila e sem mochila é próxima enquanto que na secção 2 embora com uma ligeira diferença andar sem mochila e com duas mochilas a temperatura é mais próxima do que andar sem mochila e com uma mochila.

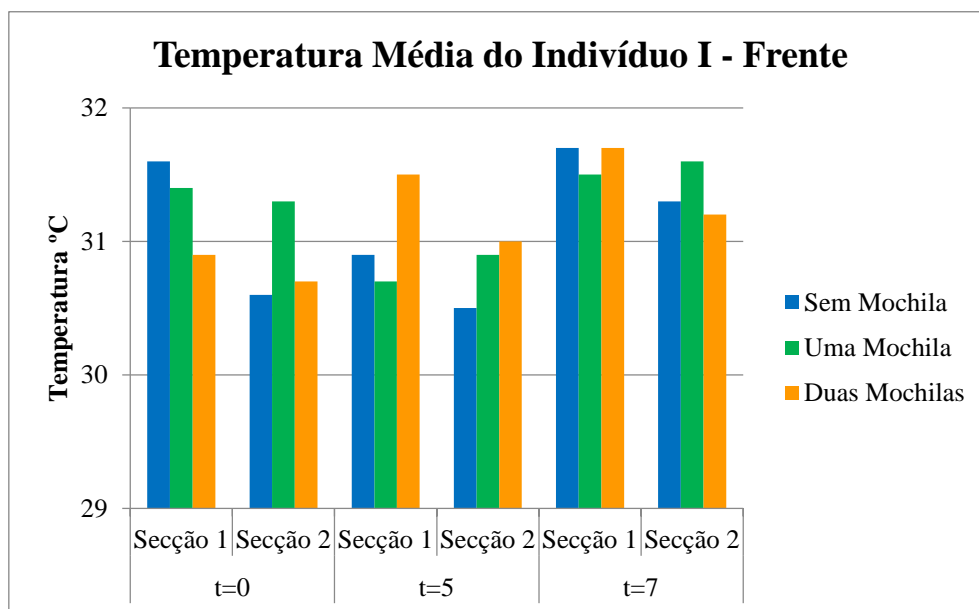


Figura 37. Temperatura média do indivíduo I - Frente

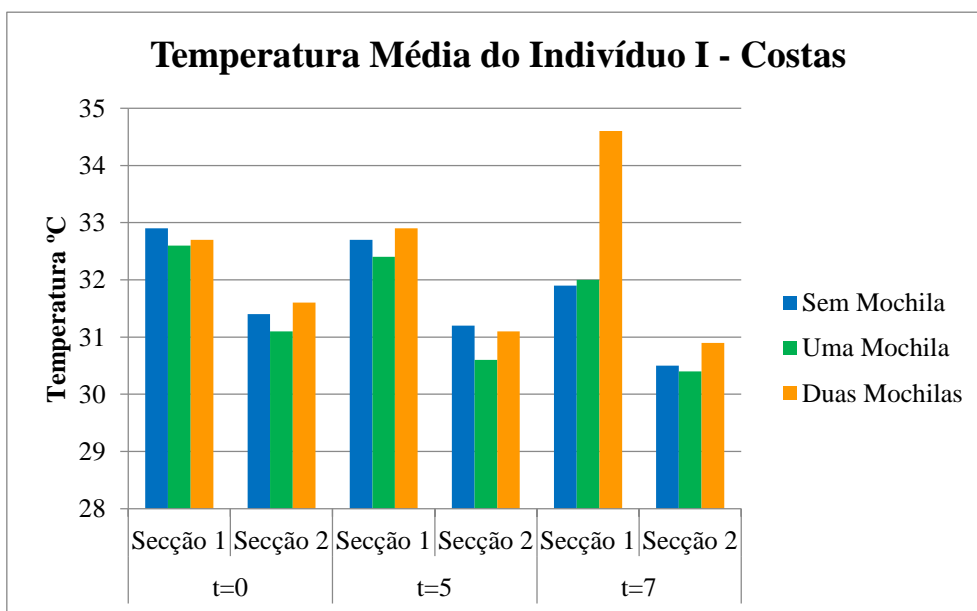


Figura 38. Temperatura média do indivíduo I - Costas

Na Figura 37 observou-se que em t=5min na secção 1 e secção 2 a temperatura do indivíduo I quando anda sem mochila e com uma mochila diminui em relação à sua temperatura inicial. Na Figura 34 verificou-se na secção 1 o mesmo que na Figura 38 porém na secção 2 verificou-se que nas três situações a temperatura diminui em relação à temperatura inicial.

Em t=7min na Figura 37 verificou-se um aumento da temperatura do indivíduo I após o exercício em ambas as secções em relação a t=5min. O mesmo não aconteceu na Figura 38 pois a temperatura aumenta apenas na secção 1 quando o indivíduo anda com duas mochilas.

Em ambas as secções na Figura 37 observou-se que é mais vantajoso para o indivíduo I andar com duas mochilas uma vez que a temperatura quando o indivíduo anda sem mochila e com duas mochilas é muito próxima. Na Figura 38 verificou-se em ambas as secções que é mais vantajoso andar com uma mochila.

Resumindo, de forma geral verificou-se que a temperatura varia, quer na frente como nas costas, de indivíduo para indivíduo quando andam sem mochila, com uma mochila e com duas mochilas não havendo uma resposta homogénea em ambas as secções, o que poderá dever-se ao facto de a carga não ser a mais apropriada bem como os indivíduos não estarem habituados a andar com duas mochilas. Contudo no indivíduo

C em ambas as secções verificou-se o esperado uma vez que foi mais vantajoso andar com duas mochilas.

Com os dados termográficos disponíveis não é possível afirmar que a marcha com duas mochilas é mais vantajosa que com uma única mochila. Provavelmente os fatores não controlados, esforço anterior ao ensaio, temperatura e humidade da sala, roupa vestida entre ensaios, etc., têm influência superior nos fatores controlados.

Verificou-se também que de uma forma geral a temperatura nos indivíduos na secção 2 era sempre mais baixa do que na secção 1 possivelmente devido ao facto do esforço por parte do indivíduo nesta secção é menor. E de acordo com (Fernandes, et al., 2012), a temperatura tende a aumentar nas regiões musculares ativas do exercício quando este for mantido com intensidade constante ou duração média e longa.

De acordo com a literatura (Fernandes, et al., 2012; Rocha, et al., 2013) a temperatura da pele tende a diminuir no início do exercício dependendo o seu valor da duração e da intensidade da atividade sendo que esta situação apenas se verificou em alguns indivíduos. Esta ocorrência, poderá dever-se ao facto da temperatura média da superfície do corpo perder calor através da evaporação (suor) e da energia absorvida pelos músculos.

4.2. Estudo Cinemático

Para a análise cinemática, foi utilizado o *software Kinovea* para a marcação dos ângulos dos segmentos articulares. Em que o ângulo α correspondeu ao primeiro toque do calcanhar com o chão e a horizontal, o ângulo β correspondeu ao segmento entre a projeção da linha articular do joelho e o trocânter maior do fémur com a horizontal e o ângulo σ corresponde ao segmento entre o trocânter maior do fémur e o acrómio com a horizontal.

A marcação dos ângulos foi realizada pela mesma pessoa e seguindo os mesmos procedimentos para todos os indivíduos.

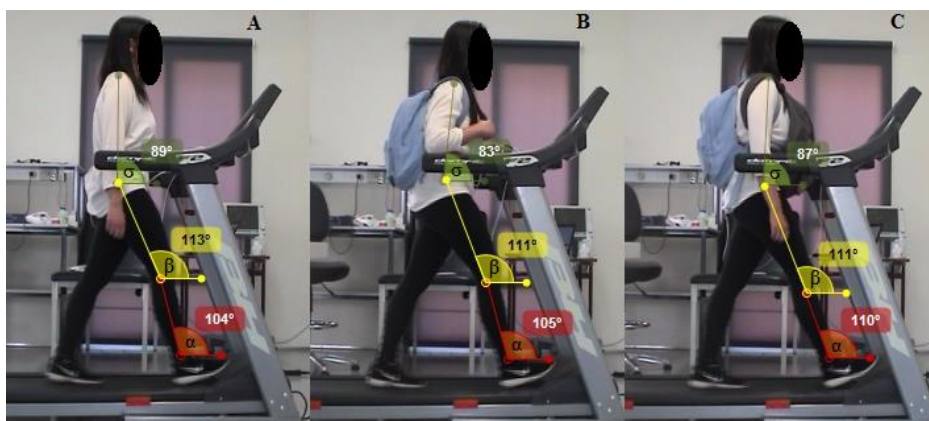


Figura 39. Marcação dos ângulos do indivíduo A: A - Sem Mochila, B - Uma Mochila, C - Duas Mochilas

Para os restantes indivíduos as imagens com a marcação dos ângulos encontram-se no Anexo B.

Para uma melhor interpretação dos ângulos (α , β , σ) foi analisado indivíduo a indivíduo e os gráficos que foram obtidos para esta análise podem ser consultados no Anexo C.

O ângulo correspondente à marcha normal é quando o indivíduo anda sem mochila. Sendo assim, ao analisar os indivíduos de modo a comparar se é mais vantajoso andar com duas ou com uma mochila o ângulo de referência é quando o indivíduo anda sem mochila.

Na Tabela 4 estão representados os valores da média e desvio padrão do ângulo α de todos os indivíduos no início e no fim de um minuto de filmagens bem como o máximo e o mínimo. É possível observar que a média do ângulo α quando os indivíduos andam sem mochila, com uma mochila e com duas mochilas é praticamente igual. Sendo assim verificou-se que não existem diferenças significativas.

Tabela 4. Média, Desvio Padrão, Máximo e Mínimo do ângulo α no início e no fim de um minuto de filmagens

		Sem Mochila	Uma Mochila	Duas Mochilas
Média (°)	<i>Início</i>	110.74	111.26	111.30
	<i>Fim</i>	111.89	111.48	111.59
Desvio Padrão (°)	<i>Início</i>	4.10	5.15	4.19
	<i>Fim</i>	4.33	4.82	4.99
Máximo (°)	<i>Início</i>	119.33	121	117.67
	<i>Fim</i>	119.67	120.33	118.67
Mínimo (°)	<i>Início</i>	104.67	103.33	105.67
	<i>Fim</i>	106.67	105	103.33

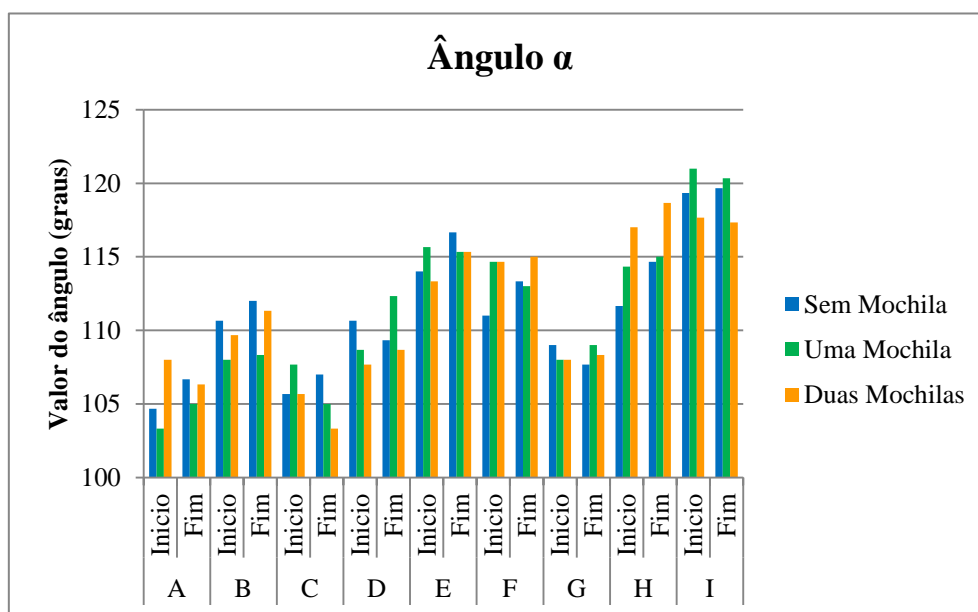


Figura 40. Valor do ângulo α para todos os indivíduos

Ao analisar a Figura 40, verificou-se que não é possível estabelecer uma relação no início e no fim de um minuto de filmagens.

No indivíduo C foi possível observar que no início quando anda com duas mochilas e sem mochila o ângulo α é praticamente igual. Contudo no final o mesmo não acontece uma vez que quando o indivíduo anda sem mochila e com uma mochila o ângulo α é muito idêntico. Nos indivíduos A e D aconteceu o oposto do indivíduo C. Quando o indivíduo E anda com duas mochilas verificou-se que no início o ângulo α é próximo de quando anda sem mochila. Contudo no final para este indivíduo andar com uma mochila e andar com duas mochilas o ângulo é praticamente igual. No indivíduo F observou-se no início que o ângulo α tem praticamente o mesmo valor quando anda

com uma e com duas mochilas. O mesmo não se verificou no final pois ao andar com uma mochila e sem mochila o valor do ângulo α é semelhante. Para o indivíduo G aconteceu o oposto do indivíduo F. Para os indivíduos H e I observou-se que o ângulo α ao andar com uma mochila e sem mochila é muito próximo.

Para o indivíduo B foi possível observar que o ângulo α no início e no final de um minuto de filmagens ao andar com duas mochilas e sem mochila é muito próximo.

Esta análise leva-nos a concluir que o valor do ângulo alfa medido não depende da carga nem do modo de transporte.

Na Tabela 5 estão representados os valores da média e desvio padrão do ângulo β de todos os indivíduos no início e no fim de um minuto de filmagens bem como o máximo e o mínimo. É possível observar que a média do ângulo β quando os indivíduos andam sem mochila, com uma mochila e com duas mochilas é praticamente o mesmo. Ocorrendo o mesmo que no ângulo α .

Tabela 5. Média, Desvio Padrão, Máximo e Mínimo do ângulo β no início e no fim de um minuto de filmagens

		Sem Mochila	Uma Mochila	Duas Mochilas
Média	<i>Início</i>	110.74	111.26	111.30
	<i>Fim</i>	111.89	111.48	111.59
Desvio Padrão	<i>Início</i>	4.10	5.154	4.188
	<i>Fim</i>	4.33	4.82	4.99
Máximo	<i>Início</i>	119.33	121.00	117.67
	<i>Fim</i>	119.67	120.33	118.67
Mínimo	<i>Início</i>	104.67	103.33	105.67
	<i>Fim</i>	106.67	105.00	103.33

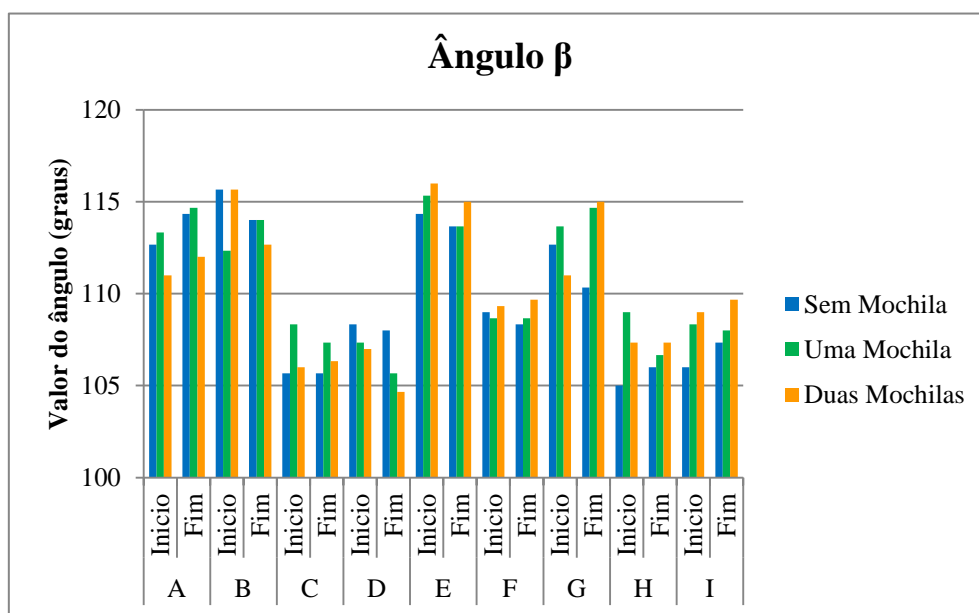


Figura 41. Valor do ângulo β para todos os indivíduos

Ao analisar os valores do ângulo β para todos os indivíduos na Figura 41, pode ser afirmado que acontece o mesmo que aconteceu com os valores do ângulo α já que não é possível fazer uma relação entre o início e o fim um minuto de filmagens. Nos indivíduos B, G, H e I foi possível observar que isso aconteceu, pois não houve uma resposta homogênea entre o início e o fim da marcha. No entanto, o indivíduo C apresenta uma resposta homogênea nos valores do ângulo quer no início quer no fim da marcha, já que os valores para este indivíduo são muito semelhantes quando anda sem mochila e com duas mochilas.

Para os indivíduos A, D, E e F verificou-se quer no início quer no fim da marcha que os valores dos ângulos apresentam uma resposta homogênea, pois os valores para estes indivíduos são muito parecidos quando anda sem mochila e com uma mochila.

Na Tabela 6 estão representados os valores da média e desvio padrão do ângulo σ de todos os indivíduos no início e no fim de um minuto de filmagens, bem como o máximo e o mínimo. No caso do ângulo σ , a média que mais se aproxima da média de quando os indivíduos andam sem mochila é a média do ângulo quando os indivíduos andam com duas mochilas. Comparando as médias dos indivíduos quando andam com uma mochila e com duas mochilas verificou-se que a média é ligeiramente superior quando andam com duas mochilas, porém não é muito significativa.

Tabela 6. Média, Desvio Padrão, Máximo e Mínimo do ângulo σ no início e no fim de um minuto de filmagens

		Sem Mochila	Uma Mochila	Duas Mochilas
Média	<i>Início</i>	88.59	84.70	85.15
	<i>Fim</i>	88.74	84.44	84.63
Desvio Padrão	<i>Início</i>	2.61	3.13	3.54
	<i>Fim</i>	2.92	3.26	3.64
Máximo	<i>Início</i>	90.67	87.00	88.00
	<i>Fim</i>	92.00	88.00	87.67
Mínimo	<i>Início</i>	81.67	76.33	75.67
	<i>Fim</i>	81.33	76.33	74.67

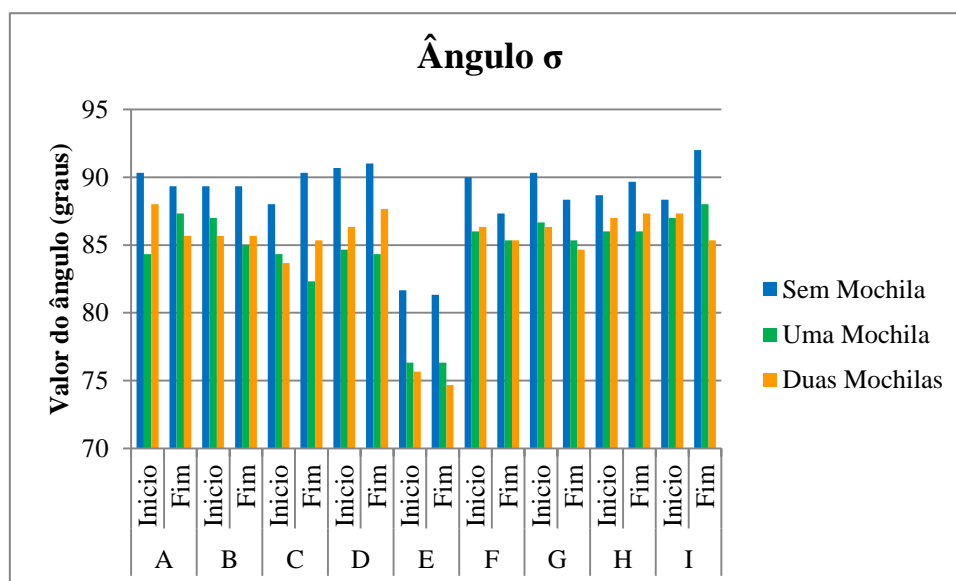


Figura 42. Valor do ângulo σ para todos os indivíduos

Com a análise da Tabela 6 e da Figura 42, foi possível observar que a medida deste ângulo é o que poderá mais ser afetado pelo modo como a carga é transportada refletindo a alteração da postura corporal.

Para o indivíduo E foi possível observar que, quer no início ou no fim de um minuto de filmagens, quando anda com uma mochila e sem mochila o ângulo σ é mais próximo do que quando anda com duas mochilas e sem mochila.

Para os indivíduos D e H o valor do ângulo σ , no início e no fim de um minuto de filmagens, quando andam com duas mochilas é próximo do valor do ângulo quando andam sem mochila.

Contudo para os restantes indivíduos no início e no fim a resposta não foi homogênea.

De uma forma geral verificou-se em todos os ângulos que a resposta da maioria dos indivíduos no início e no fim de um minuto de filmagens não foi uniforme, isto poderá dever-se ao facto de nenhum dos indivíduos não estar habituados a andar com duas mochilas no seu dia-a-dia e também poderá ser justificado por uma adaptação dos indivíduos ao longo de um minuto de filmagens.

4.3. Estudo Eletromiográfico - EMG

A aquisição do sinal EMG decorreu em paralelo com a cinemática. O sinal foi tratado seguindo o procedimento descrito no Capítulo 3.

No Anexo D estão as imagens de todos os indivíduos referentes ao músculo eretor da coluna e ao músculo transverso abdominal. O primeiro músculo analisado foi o músculo eretor da coluna. O valor do sinal RMS registado para todos os indivíduos é apresentado na Figura 43.

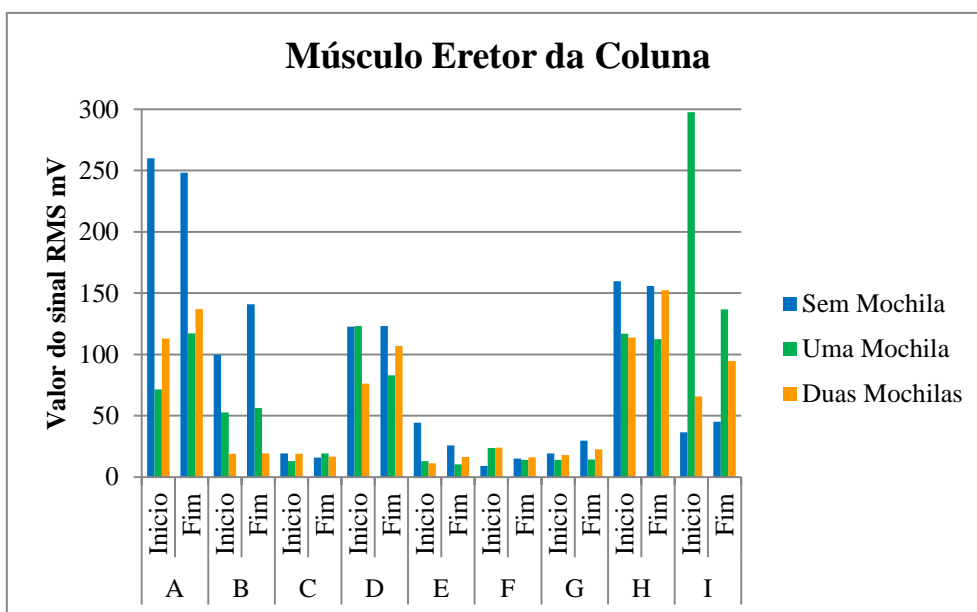


Figura 43. Valor do sinal RMS no músculo eretor da coluna

Perante a análise da Figura 43, verificou-se que o valor do sinal RMS para os indivíduos A, C, G e I quando andam com duas mochilas e quando andam sem mochila é mais próximo, tanto no início como no fim do ciclo da marcha analisado.

No caso do individuo D é possível observar que os valores do sinal RMS são muito próximos quando este anda sem mochila e com uma mochila, no início do ciclo analisado. Já no fim do ciclo analisado, os valores do sinal RMS são mais próximos quando este individuo anda sem mochila e com duas mochilas, distanciando-se estes valores de quando o individuo D anda com uma mochila. Relativamente aos indivíduos E e H verificou-se que no início do ciclo analisado o valor do sinal RMS quando andam com uma mochila e com duas mochilas é praticamente igual, porém no fim do ciclo o mesmo não acontece pois quando andam com duas mochilas o valor do sinal RMS é mais próximo do valor quando andam sem mochila. O facto de os indivíduos D, E e H não ter uma resposta homogénea poderá dever-se ao facto como já foi descrito anteriormente de os indivíduos não estarem acostumados a andar com duas mochilas e também poderá ser justificado por uma adaptação dos indivíduos ao longo da marcha.

No indivíduo F foi possível ver que o valor do sinal RMS quando anda com uma mochila e com duas mochilas é muito próximo, quer no início quer no fim do ciclo analisado.

Para o indivíduo B observou-se que quando anda com uma e com duas mochilas o valor do sinal RMS mais próximo de sem mochila é quando anda com uma mochila.

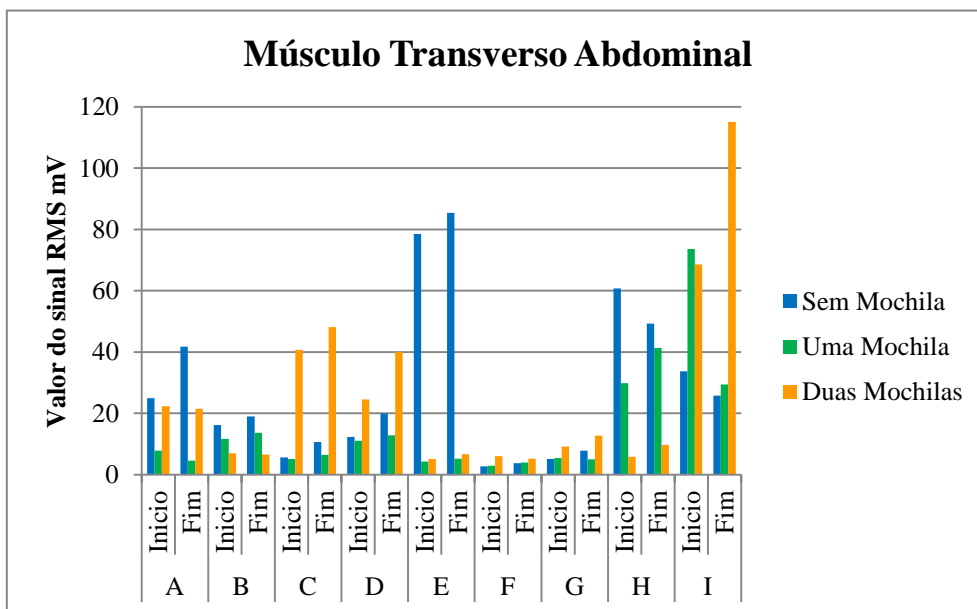


Figura 44. Valor do sinal RMS no músculo transverso abdominal

O analisar a Figura 44 verificou-se que para os indivíduos B, C, D, G e H o valor do sinal RMS quando andam com uma mochila e sem mochila é muito próximo quer no início como no fim do ciclo analisado.

Para o indivíduo A o valor do sinal RMS mais próximo de quando anda sem mochila é quando anda com duas mochilas, no início e no fim do ciclo.

No caso dos indivíduos E e F observou-se que quando anda com uma mochila e com duas mochilas o valor do sinal RMS é muito parecido.

Relativamente ao indivíduo I verificou-se que, no início do ciclo analisado, o valor do sinal RMS quando anda com uma mochila e com duas mochilas é praticamente igual. Já no fim do ciclo analisado o mesmo não acontece, uma vez que o valor do sinal RMS quando o indivíduo andam com uma mochila e sem mochila é praticamente o mesmo.

Sendo assim, perante a análise do valor do sinal RMS dos indivíduos no músculo transversal abdominal, verificou-se que a maioria dos indivíduos quando andam sem mochila apresentam um valor do sinal RMS idêntico a quando andam apenas com uma mochila.

Poderá este resultado significar que os músculos abdominais são mais solicitados quando se transporta carga à frente. Este músculo pode não estar tão diretamente relacionado com a postura.

O músculo transversal abdominal comparado com o músculo eretor da coluna apresenta, no geral, valores menores do sinal RMS, o que poderá indicar que será este o músculo com menor atividade durante o ciclo da marcha.

Capítulo 5

5. Conclusão

No dia-a-dia são várias as pessoas que transportam pesos relativos não desprezáveis nas suas deslocações, o que pode levar a que seja fundamental a identificação dos fatores que levam a alterações posturais e consequentes ocorrências de lesões agudas e crónicas.

Neste trabalho, de modo a analisar a influência da carga em mochilas bilaterais durante a marcha com a marcha normal, foram utilizadas técnicas como a termografia, a cinemática e a eletromiografia.

Relativamente à análise da marcha através da termografia, os resultados não são conclusivos, o que faz com que não seja possível demonstrar que andar com duas mochilas é mais vantajoso. Observou-se que na secção 1 e 2 resposta dos indivíduos não foi homogénea, o que pode ser explicado pelo facto de a carga das mochilas não ser a mais apropriada bem como os indivíduos não estarem habituados a andar com duas mochilas. No entanto, nem em todos os indivíduos a temperatura da pele era menor no início do exercício, que poderá ser explicado pelo facto da superfície do corpo perder calor através da evaporação (suor).

No que diz respeito à análise da marcha através da cinemática, verificou-se que não existe uma resposta homogénea, quer no início ou no fim da marcha, por parte dos indivíduos. Isto poderá ter acontecido por haver uma adaptação dos indivíduos ao longo de um minuto de filmagens. Pelos resultados da média dos ângulos α , β e σ , pode-se concluir que estes não apresentam diferenças significativas quando os indivíduos andam com uma mochila e com duas mochilas, comparativamente a quando andam sem mochila. Isto poderá ser justificado pelo facto da carga das mochilas utilizada não ser a mais apropriada em alguns indivíduos.

No caso do estudo da eletromiografia, verificou-se que, para alguns indivíduos, foram obtidos melhores resultados no músculo eretor da coluna quando são utilizadas duas mochilas. No entanto, para uma outra parte dos indivíduos, a resposta não foi linear nem no início nem no fim da marcha, quando andam sem mochila, com uma mochila e com duas mochilas. No músculo transversal abdominal verificou-se que no início e no fim do

ciclo analisado a maioria dos indivíduos, quando andam sem mochila, apresentam um valor do sinal RMS idêntico aquando andam apenas com uma mochila. Verificou-se também que ao comparar os valores do sinal RMS no músculo transversal abdominal com o músculo eretor da coluna, o que tem menores valores do sinal RMS é o músculo transversal abdominal o que poderá indicar que será este músculo com menor atividade durante o ciclo da marcha.

Resumindo, com base neste estudo não se pode concluir que a marcha com *double backpack* seja mais vantajosa que a marcha com mochila única às costas. As diferenças e as semelhanças, quando existiram, não eram significativas.

5.1. Limitações e Trabalhos Futuros

Durante este trabalho surgiram algumas dificuldades, como o número da amostra e também a disponibilidade de voluntários, do material e do laboratório. Para que fosse possível obter melhores resultados e também ultrapassar estas limitações, seria necessário a aquisição ou fabrico de material apropriado, como as *double backpack*.

Como trabalhos futuros para uma melhor abordagem deste estudo seria de utilizar uma amostra maior, uma velocidade pré-definida bem como uma alteração, aumento da carga na mochila da frente e de trás nos indivíduos de modo a verificar se seria ou não vantajoso andar com duas mochilas. A duração da marcha também deverá ser revista.

É fundamental em trabalhos futuros controlar a temperatura e humidade do laboratório. O estado de repouso dos voluntários, a ordem dos exercícios e o descanso entre exercícios deverão ser rigorosamente controlados.

Capítulo 6

6. Referências Bibliográficas

Alves, A. P., Silva, H., Lourenço, A. & Fred, A., 2013. *BITalino: A Biosignal Acquisition System based on the Arduino*. Porto, s.n., pp. 261-264.

Amadio, A. C. et al., 1999. Introdução à análise do movimento humano - descrição e aplicação dos métodos biomecânicos de medição. *Revista Brasileira De Fisioterapia*, pp. 41-54.

Barbosa, C. P. d. F. M., 2011. *Modelação biomecânica do corpo humano: aplicação na análise da marcha*, Braga: s.n.

Barbosa, T., 2010. *Introdução à biomecânica*, Bragança: s.n.

Basmajian, J. V. & Luca, C. J. D., 1985. *Músculos Vivos. Suas funções reveladas por eletromiografia*. Baltimore: Williams & Wilkins.

Braccialli, L. M. P. & Vilarta, R., 2000. Aspectos a serem considerados na elaboração de programas de prevenção e orientação de problemas posturais. *Revista Paulista de Educação Física e Esporte*, pp. 159-171.

Carvalho, A. R. d., Andrade, A. & Peyré-Tartaruga, L. A., 2015. Possíveis alterações no mecanismo minimizador de energia da caminhada em decorrência da dor lombar crônica - revisão de literatura. *Revista Brasileira de Reumatologia*, pp. 55-61.

Carvalho, L. A. P. d., 2004. *Análise cinemática do perfil da coluna vertebral durante o transporte de mochila escolar*, Curitiba: s.n.

Cavagna, G. & Kaneko, M., 1997. Mechanical work and efficiency in level walking and running. *Journal of Physiology*, Janeiro. pp. 467-481.

Clow, D. et al., 2005. The effect of backpack load on the gait of normal adolescent girls. *Ergonomics*, pp. 642-656.

Completo, A. & Fonseca, F., 2011. *Fundamentos de Biomecânica: músculo-esquelética e ortopédica*. Porto: Publindústria.

Contri, D., Petrucelli, A. & Perea, D., 2009. Incidência de desvios posturais em escolares do 2º ao 5º ano do Ensino Fundamental. *Revista ConScientiae Saúde*, pp. 219-224.

Correia, P. P. & Mil-Homens, P., 2004. *A electromiografia no estudo do movimento humano*. Lisboa: FMH.

Correia, P., Santos, P. & Veloso, A., 1998. Estudo da função neuromuscular com recurso à electromiografia: Desenvolvimento e fundamentação de um sistema de recolha e processamento e estudos realizados. *Episteme 2*, pp. 139-182.

Datta, S. & Ramanathan, N., 1971. Ergonomic comparison of seven modes of carrying loads on the horizontal plane. *Ergonomics*, pp. 269-278.

Fernandes, A. et al., 2012. Avaliação da temperatura da pele durante o exercício através da termografia. *Revista Andaluza de Medicina Del Deporte*, Setembro, pp. 113-117.

Fernandes, R. et al., 2010. Avaliação da atividade elétrica muscular em natação. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*, pp. 121-141.

Flores, F. et al., 2006. The effect of backpack use in children's gait kinematics. *Revista Scientia Medica*, pp. 4-11.

Franco, P. S., Silva, C. B. P. d., Rocha, E. S. d. & Carpes, F. P., 2015. Análise da variabilidade e repetibilidade da pressão plantar durante a marcha de idosos. *Revista Brasileira de Reumatologia*, pp. 427-433.

Gabriel, A. T. M. V., 2012. *Métrica Vertebral: Processamento Optimizado de Imagem*, Lisboa: s.n.

Gonçalves, P. R. M., 2012. *O efeito de um programa de atividades aquáticas na postura corporal de mulheres sedentárias*, Bragança: s.n.

Griffin, T., Roberts, T. & Kam, R., 2003. Metabolic of generation muscular force in human walking: insights from load-carring and speed experiments. *Journal of Applied Physiology*, pp. 172-183.

Grimmer, K., Williams, M. & Gill, T., 1999. The associations between adolescent head-on-neck posture, backpack weight, and anthropometric features. *Spine*, pp. 2262-2267.

Guerreiro, J. et al., 2013. *BITalino: A Multimodal Platform for Physiological Computing*. Reiquiavique, s.n., pp. 500-506.

Hong, Y. & Cheung, C., 2003. Gait and posture responses to backpack load during level walking in children. *Gait and Posture*, pp. 28-33.

Hong, Y., Li, J., Wong, A. & Robinson, P., 1998. Weight of schoolbags and the metabolic strain created in children. *Journal of Human Movement Studie*, pp. 187-200.

Inman, V. T., Ralston, H. J. & Todd, F., 1981. *Human Walking*. Londres: Williams & Wilkins.

Jardim, M. M. R., 2013. *Efeitos da sobrecarga das mochilas escolares nas alterações posturais e de equilíbrio*, Lisboa: s.n.

Kendall, F. P., Kendall, E. & Provance, P. G., 1995. *Músculos Provas e Funções*. São Paulo: Manole.

Kinoshita, H., 1985. Effects of different loads and carrying systems on selected biomechanical parameters describing walking gait. *Ergonomics*, pp. 1347-1362.

Komura, T., Nagano, A., Leung, H. & Sinagawa, Y., 2005. Simulating Pathological Gait Using the Enhanced Linear Inverted Pendulum Model. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, pp. 52-59.

Konrad, P., 2005. *The ABC of EMG A Practical Introduction to Kinesiological Electromyography*, USA: Noraxon Inc.

Kylili, A., Fokaides, P. A., Christou, P. & Kalogirou, S. A., 2014. Infrared thermography (IRT) applications for building diagnostics: A review. *Applied Energy*, pp. 531-549.

Legg, S. & Mahanty, A., 1985. Comparison of five modes carrying a load close to the trunk. *Ergonomics*, pp. 1653-1660.

Li, J. X. & Hong, Y., 2001. *Changes of trunk position and breathing pattern in children walking under conditions of load carriage*. San Francisco, USA, Conference Proceedings Archive, pp. 177-179.

Luca, C. J. D., 1997. The Use of Surface Electromyography in Biomechanics. *Journal Of Applied Biomechanics*, pp. 135-163.

Mackenzie, W., Sampath, J., Kruse, R. & Sheir-Neiss, G., 2003. Backpacks in Children. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, pp. 78-84.

Martelli, R. C. & Traebert, J., 2006. Estudo descritivo das alterações posturais de coluna vertebral em escolares de 10 a 16 anos de idade. *Revista Brasileira de Epidemiologia*, pp. 87-93.

Medved, V., 2001. *Measurement of the human locomotion*. Londres: CRC Press.

Minhoto, S. M. A., 2013. *Caracterização da postura estática de estudantes com sobrecarga (mochilas) às costas*, Bragança: s.n.

Monteiro, S. M. R. C., 2013. *Alterações da curvatura da coluna vertebral: influência da fisioterapia, a nível neuromuscular*, Lisboa: s.n.

Motmans, R., Tomlow, S. & Vissers, D., 2006. Trunk muscle activity in different modes of carrying schoolbags. *Ergonomics*, Fevereiro, pp. 127-138.

Netter, F. H., 2001. *Atlas of Human Anatomy*. New Jersey: ICON Learning Systems.

Nigg, B. M. & Herzog, W., 1994. *Biomechanics of the musculo-skeletal system*. 2º ed. Canadá: Wiley.

Pascoe, D. et al., 1997. Influence of carrying book bags on gait cycle and posture of youths. *Ergonomics*, pp. 631-641.

Phipps, W. J., Sands, J. K. & Marek, J. F., 1999. *Enfermagem Médico - Cirúrgica: Conceitos e Prática Clínica*. 6º ed. s.l.:LUSOCIÊNCIA.

Quaresma, C. R. P., 2010. *Alterações biomecânicas da coluna vertebral durante a gravidez*, Lisboa: s.n.

Rocha, J., Queijo, L. & Santos, J., 2013. Utilização da técnica termográfica, para determinação de desequilíbrios musculares, durante o transporte de Laptop em mochila suportada por um único ombro. *5º Congresso Nacional de Biomecânica*, 8-9 Fevereiro, pp. 59-62.

Rocha, J., Queijo, L. & Santos, J., 2015. Termografia: Técnica usada para análise da marcha durante o transporte de mochilas nas costas. In: *Estudos em desenvolvimento motor da criança VIII*. Bragança: Escola Superior de Educação do Instituto Politécnico de Bragança, pp. 110-113.

Sanches, I. J., 2009. *Sobreposição de imagens de termografia e ressonância magnética: uma nova modalidade de imagem médica tridimensional*, Curitiba: s.n.

Sanders, M., Inmam, T. & Heberhart, D., 1953. The major determinants in normal and pathological gait. *The Journal of Bone and Joint Surgery*, pp. 543-558.

Silva, H. P. d. et al., 2014. *BITalino: A Novel Hardware Framework for Physiological Computing*. Lisboa, s.n., pp. 246-253.

Silva, J. R., 2014. *Repercussões biofísicas da locomoção de crianças pré-pubertárias com cargas às costas. As implicações da utilização de mochilas escolares.*, Valladolid: s.n.

Sousa, A. & Tavares, J. M. R. S., 2010. *A marcha humana: uma abordagem biomecânica*. Porto, s.n.

Valmassy, R. L., 1996. *Clinical Biomechanics of the Lower Extremities*. USA: St. Louis: Mosby.

Wang, Y. ', Pascoe, D. D. & Weimar, W., 2001. Evaluation of book backpack load during walking. *Ergonomics*, pp. 858-869.

Waters, L. & Mulroy, S., 1999. The energy expenditure of normal and pathological gait: relation to mechanical energy cost. *Journal of Neurophysiology*, pp. 207-231.

Whittle, M. W., 2003. *Gait Analysis: an Introduction..* Oxford: Butterworth-Heinemann.

Wickstrom, R., 1990. *Patrones Motores Básicos*. s.l.:Alianza Editorial.

Winter, D. A., 2005. *Biomechanics and Motor Control of Human Movement*. s.l.:Hoboken, John Wiley & Sons.

Yuy, Z. & Lu, M., 1990. The acceptable load while marching at a speed of 5-km h-1 for young Chinese. *Ergonomics*, pp. 885-900.

Anexo A

- Indivíduo A

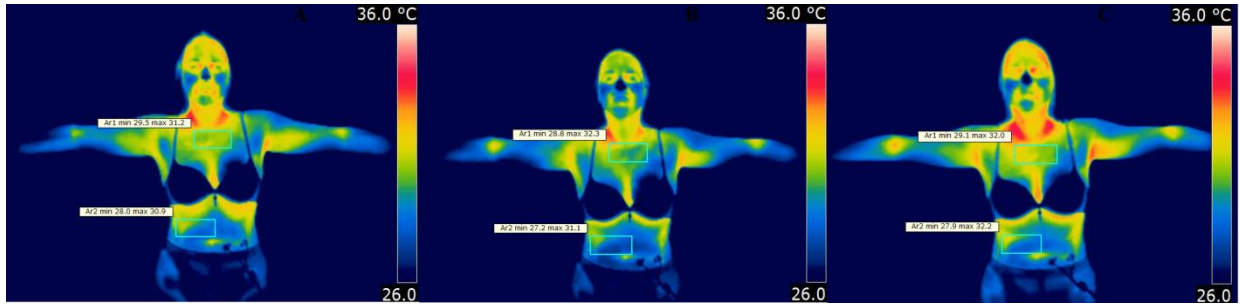


Figura 1. Registo da temperatura mínima e máxima do indivíduo A com uma mochila na frente: A - $t=0$, B - $t=5$, C - $t=7$

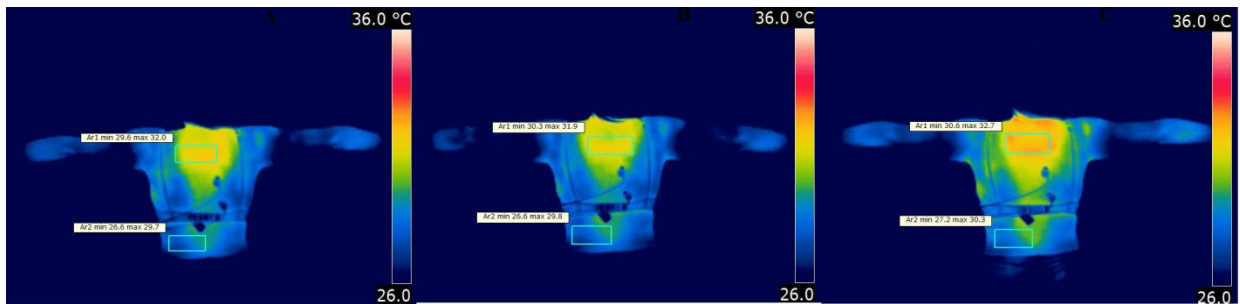


Figura 2. Registo da temperatura mínima e máxima do indivíduo A com uma mochila nas costas: A - $t=0$, B - $t=5$, C - $t=7$

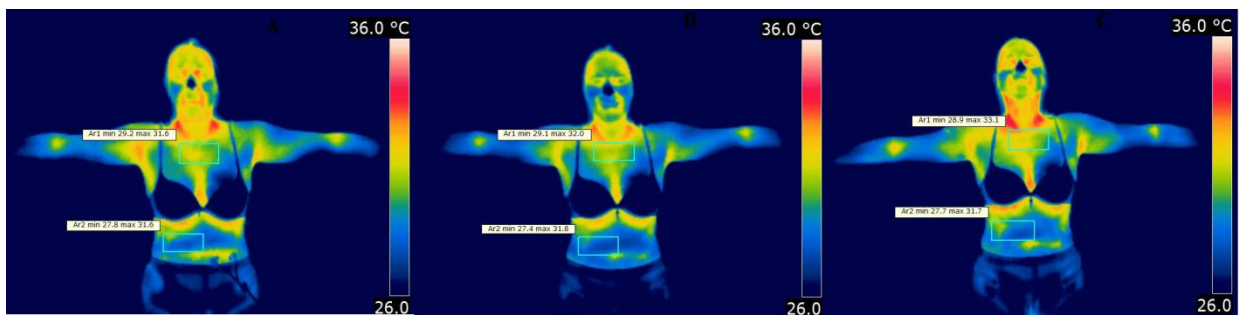


Figura 3. Registo da temperatura mínima e máxima do indivíduo A com duas mochilas na frente: A - $t=0$, B - $t=5$, C - $t=7$

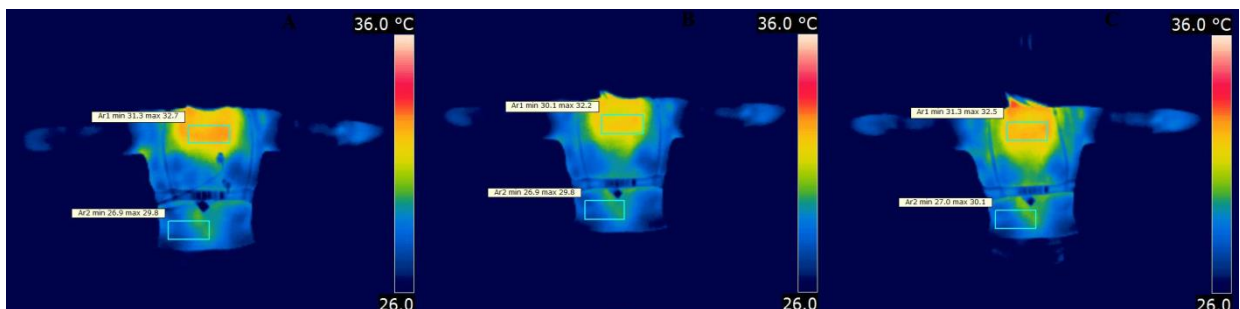


Figura 4. Registo da temperatura mínima e máxima do indivíduo A com duas mochilas nas costas: A - $t=0$, B - $t=5$, C - $t=7$

- Indivíduo B

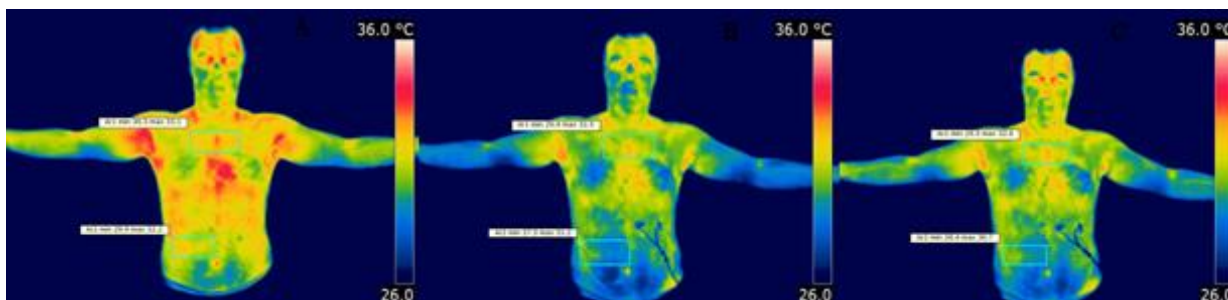


Figura 5. Registo da temperatura mínima e máxima do indivíduo B sem mochila na frente: A - $t=0$, B - $t=5$, C - $t=7$

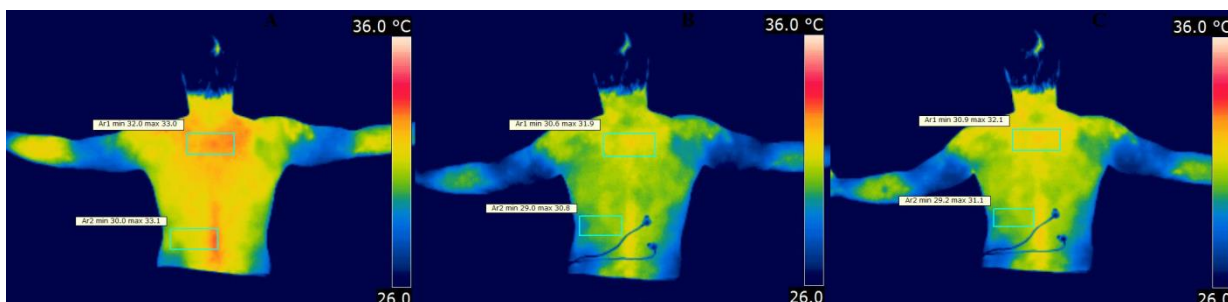


Figura 6. Registo da temperatura mínima e máxima do indivíduo B sem mochila nas costas: A - $t=0$, B - $t=5$, C - $t=7$

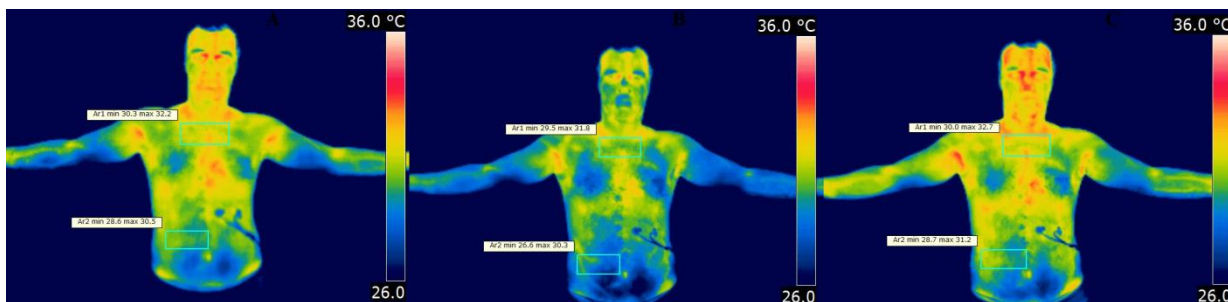


Figura 7. Registo da temperatura mínima e máxima do indivíduo B com uma mochila na frente: A - $t=0$, B - $t=5$, C - $t=7$

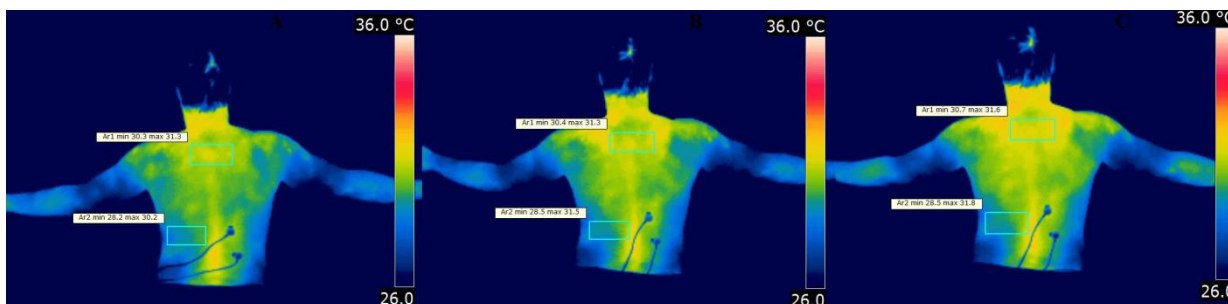


Figura 8. Registo da temperatura mínima e máxima do indivíduo B com uma mochila nas costas: A - $t=0$, B - $t=5$, C - $t=7$

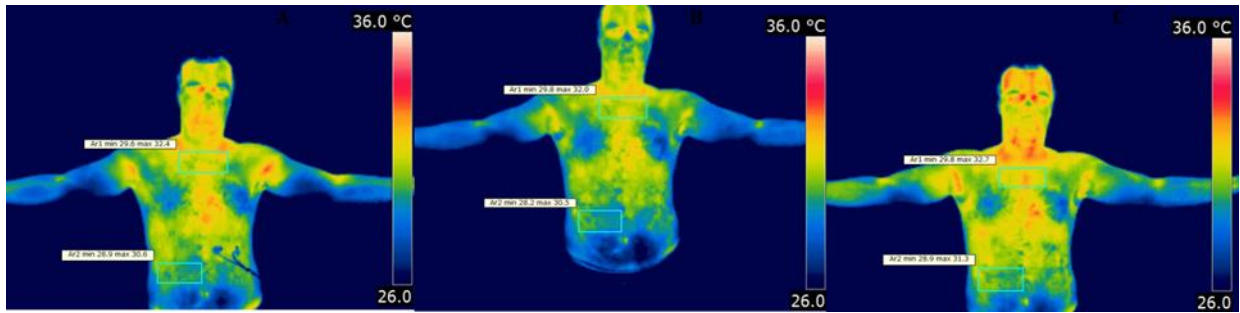


Figura 9. Registo da temperatura mínima e máxima do indivíduo B com duas mochilas na frente: A - $t=0$, B - $t=5$, C - $t=7$

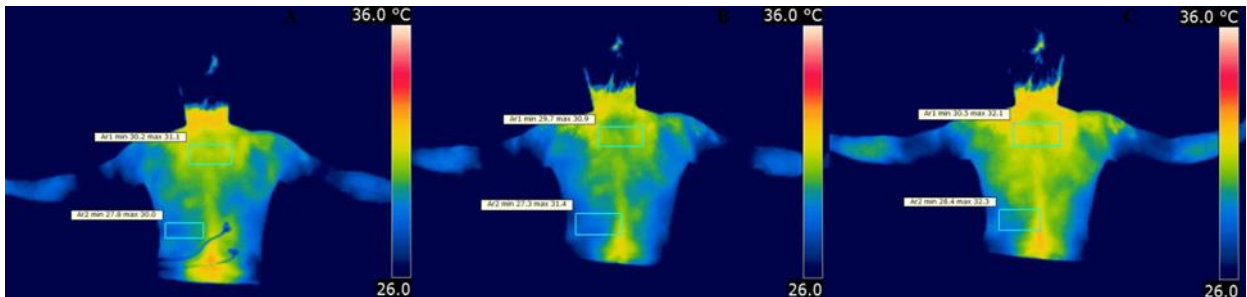


Figura 10. Registo da temperatura mínima e máxima do indivíduo B com duas mochilas nas costas: A - $t=0$, B - $t=5$, C - $t=7$

- Indivíduo C

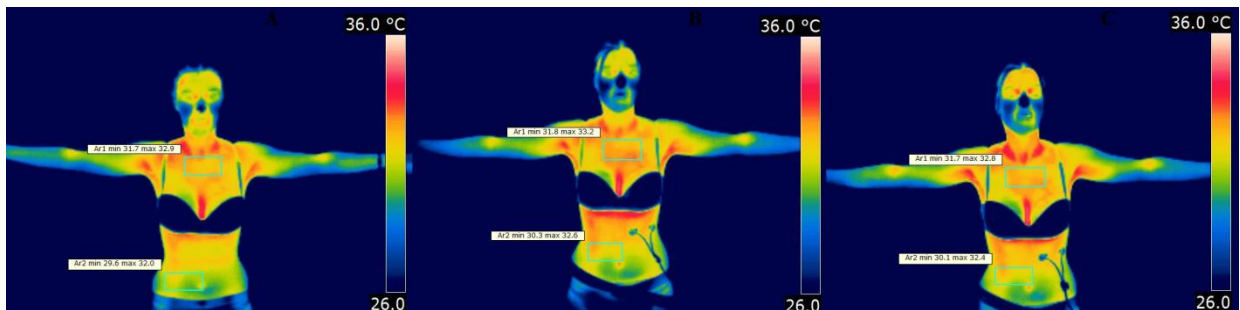


Figura 11. Registo da temperatura mínima e máxima do indivíduo C sem mochila na frente: A - $t=0$, B - $t=5$, C - $t=7$

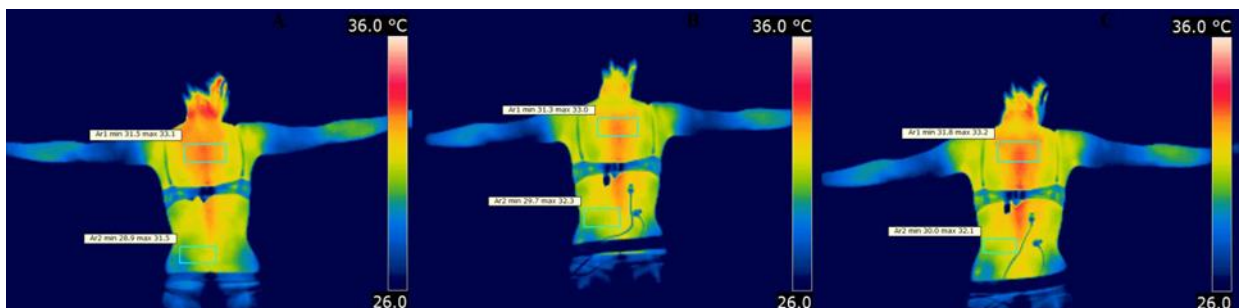


Figura 12. Registo da temperatura mínima e máxima do indivíduo C sem mochila nas costas: A - $t=0$, B - $t=5$, C - $t=7$

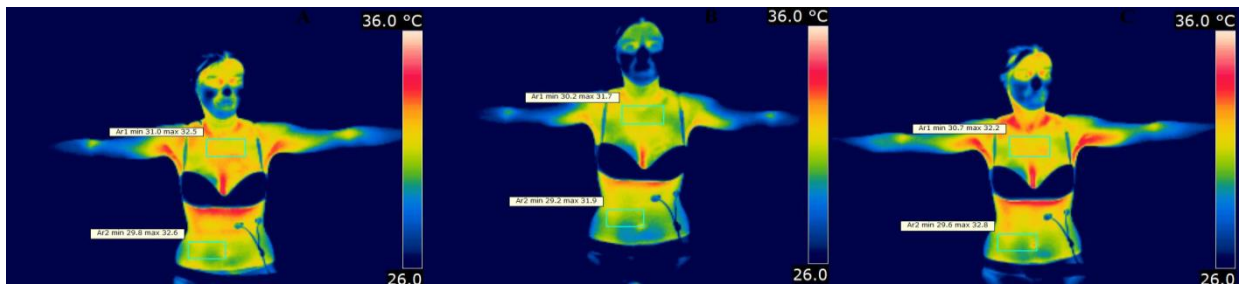


Figura 13. Registo da temperatura mínima e máxima do indivíduo C com uma mochila na frente: A - $t=0$, B - $t=5$, C - $t=7$

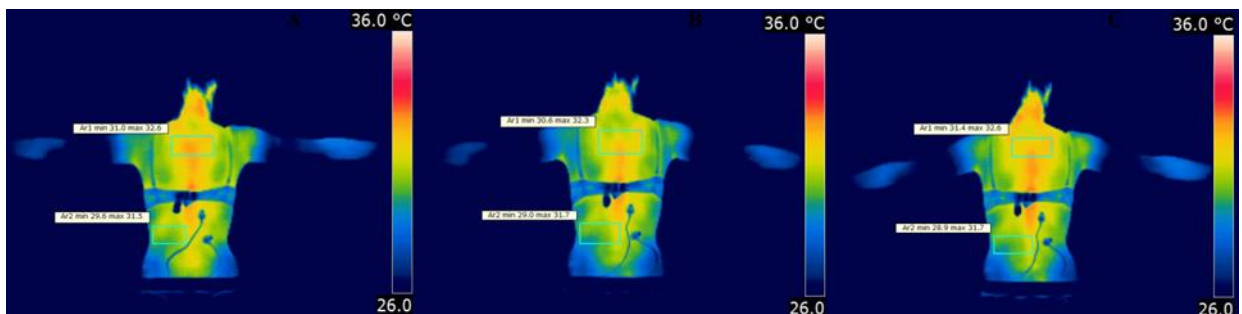


Figura 14. Registo da temperatura mínima e máxima do indivíduo C com uma mochila nas costas: A - $t=0$, B - $t=5$, C - $t=7$

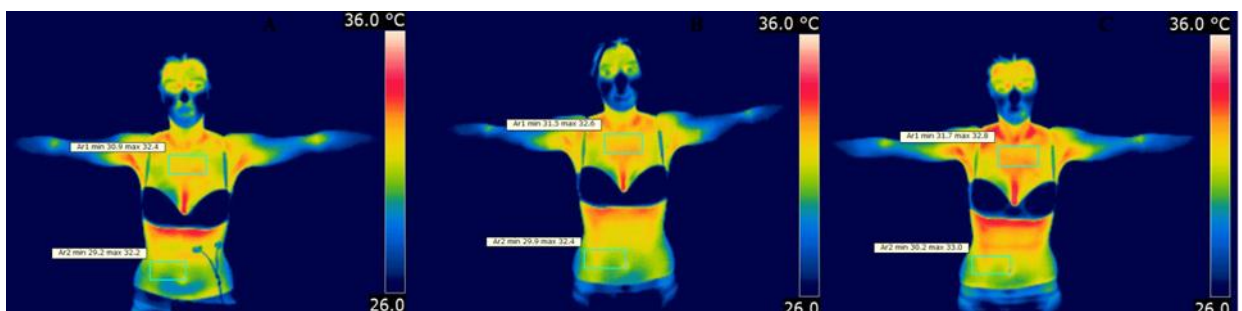


Figura 15. Registo da temperatura mínima e máxima do indivíduo C com duas mochilas na frente: A - $t=0$, B - $t=5$, C - $t=7$

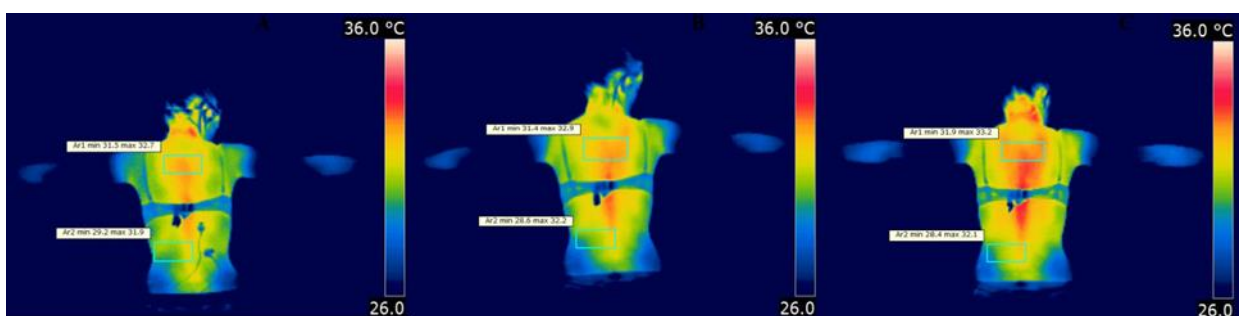


Figura 16. Registo da temperatura mínima e máxima do indivíduo C com duas mochilas nas costas: A - $t=0$, B - $t=5$, C - $t=7$

- Indivíduo D

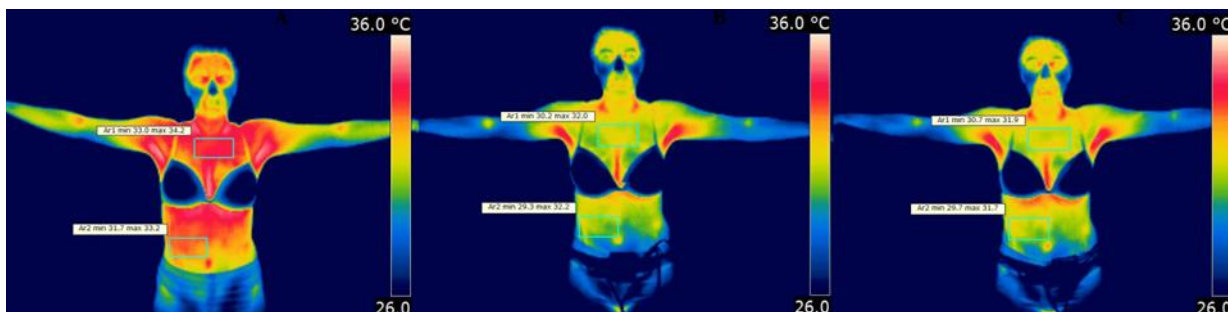


Figura 17. Registo da temperatura mínima e máxima do indivíduo D sem mochila na frente: A - $t=0$, B - $t=5$, C - $t=7$

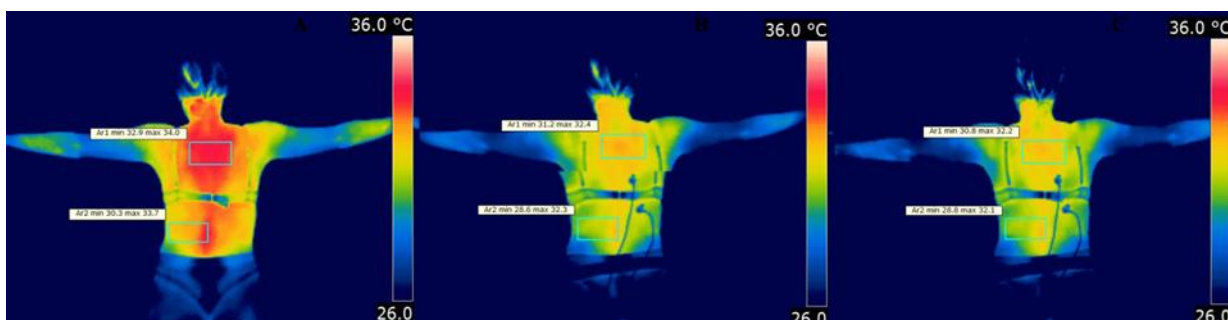


Figura 18. Registo da temperatura mínima e máxima do indivíduo D sem mochila nas costas: A - $t=0$, B - $t=5$, C - $t=7$

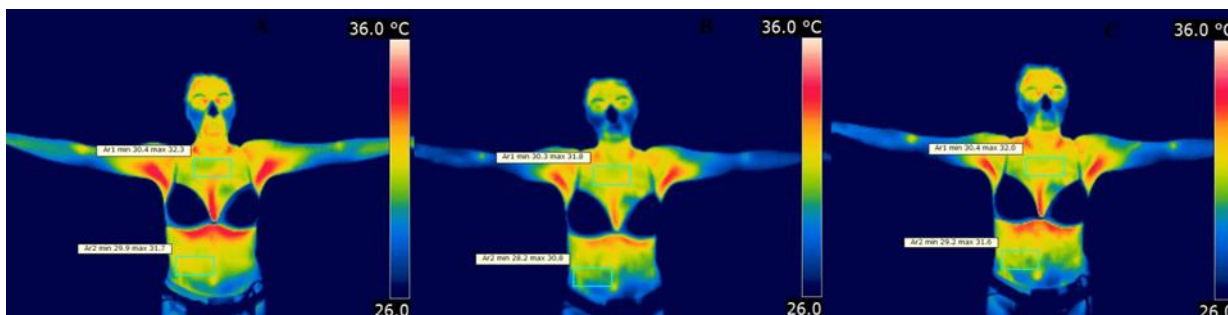


Figura 19. Registo da temperatura mínima e máxima do indivíduo D com uma mochila na frente: A - $t=0$, B - $t=5$, C - $t=7$

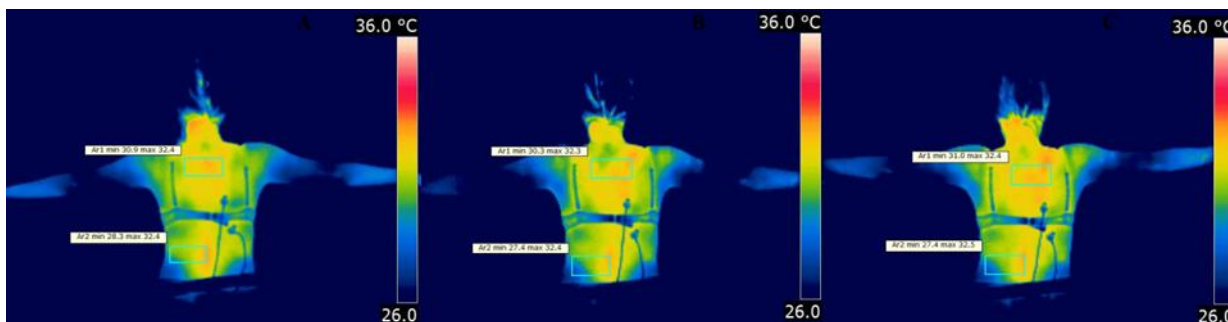


Figura 20. Registo da temperatura mínima e máxima do indivíduo D com uma mochila nas costas: A - $t=0$, B - $t=5$, C - $t=7$

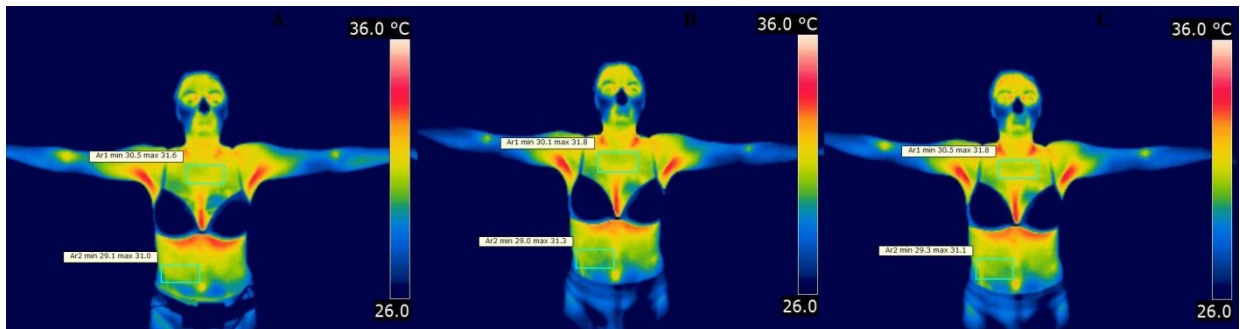


Figura 21. Registo da temperatura mínima e máxima do indivíduo D com duas mochilas na frente: A - $t=0$, B - $t=5$, C - $t=7$

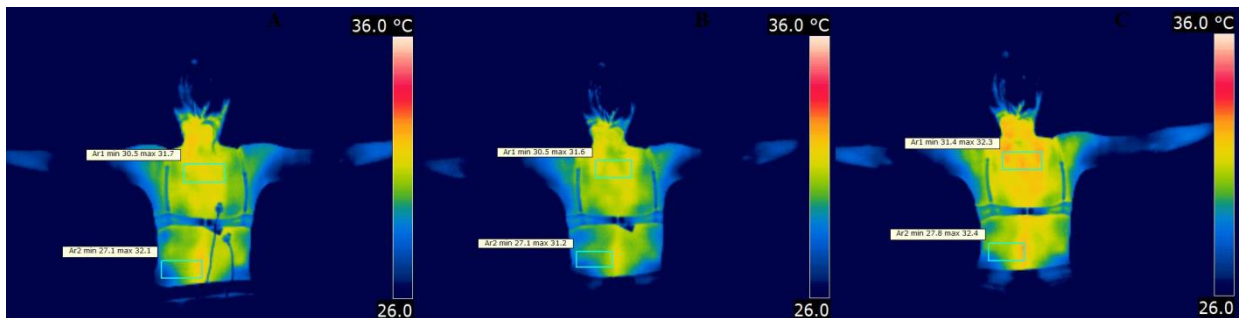


Figura 22. Registo da temperatura mínima e máxima do indivíduo D com duas mochilas nas costas: A - $t=0$, B - $t=5$, C - $t=7$

- Indivíduo E

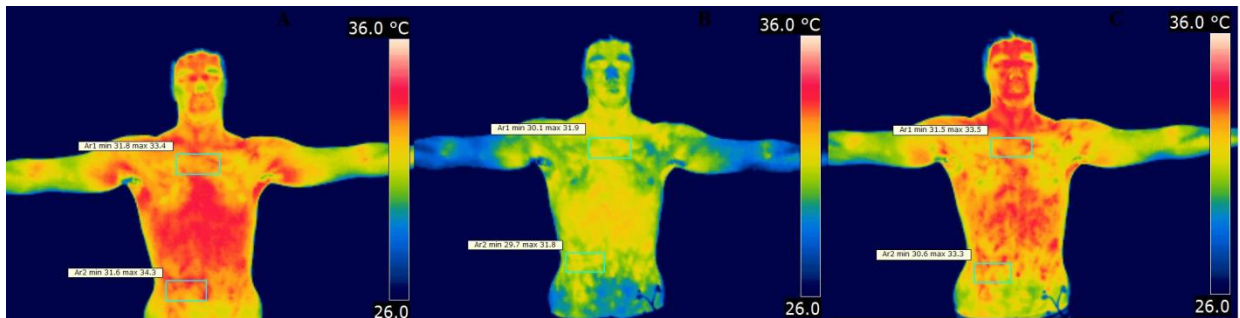


Figura 23. Registo da temperatura mínima e máxima do indivíduo E sem mochila na frente: A - $t=0$, B - $t=5$, C - $t=7$

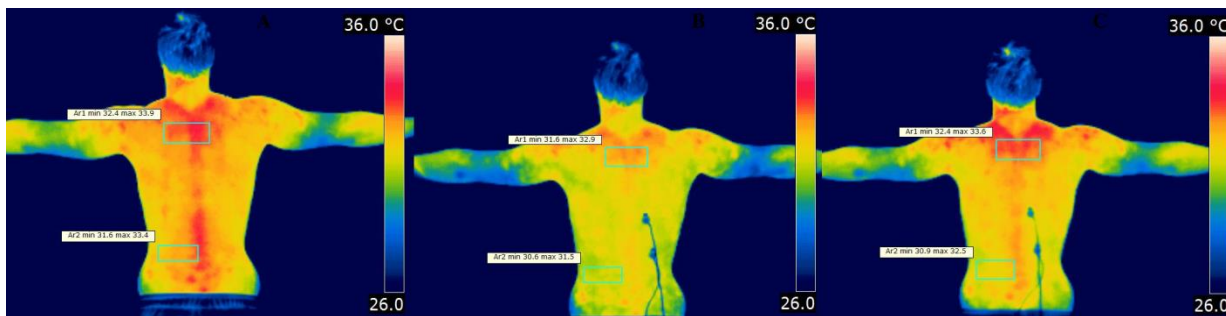


Figura 24. Registo da temperatura mínima e máxima do indivíduo E sem mochila nas costas: A - $t=0$, B - $t=5$, C - $t=7$

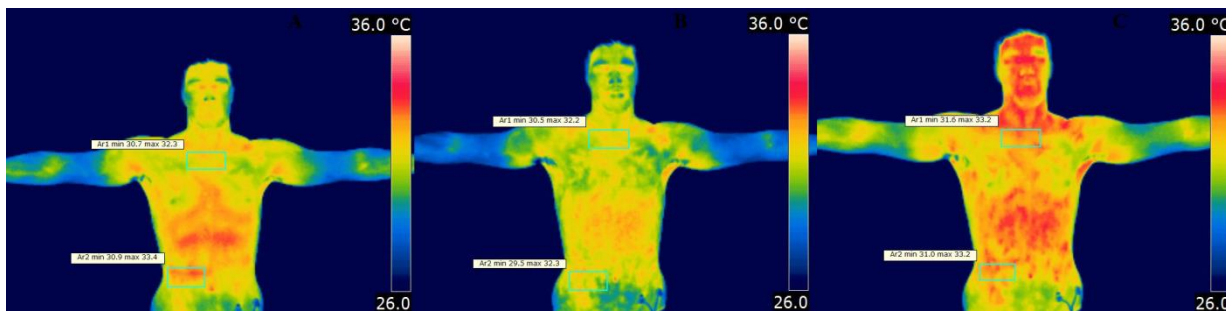


Figura 25. Registo da temperatura mínima e máxima do indivíduo E com uma mochila nas costas: A - $t=0$, B - $t=5$, C - $t=7$

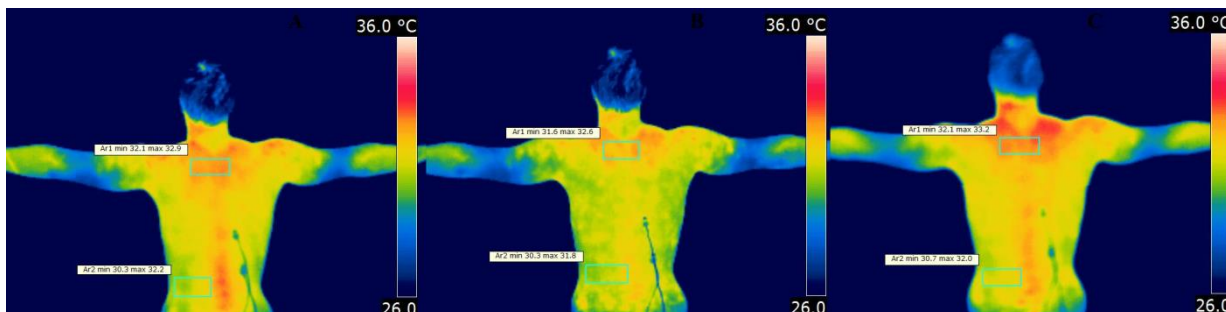


Figura 26. Registo da temperatura mínima e máxima do indivíduo E com uma mochila nas costas: A - $t=0$, B - $t=5$, C - $t=7$

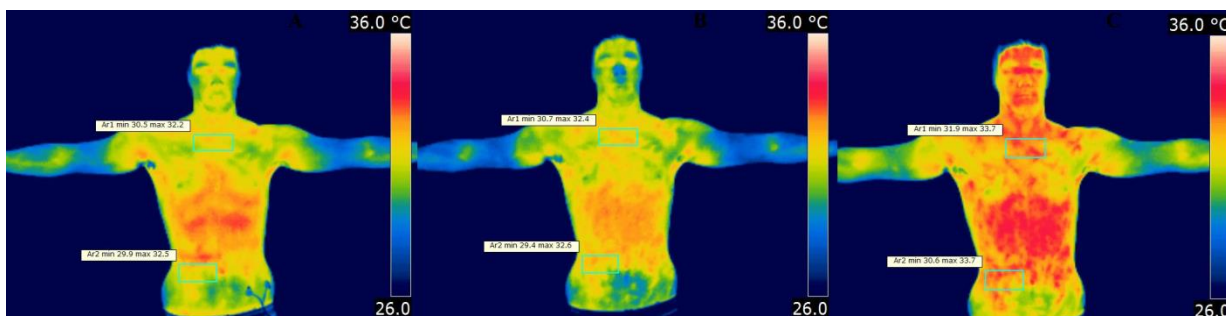


Figura 27. Registo da temperatura mínima e máxima do indivíduo E com duas mochilas na frente: A - $t=0$, B - $t=5$, C - $t=7$

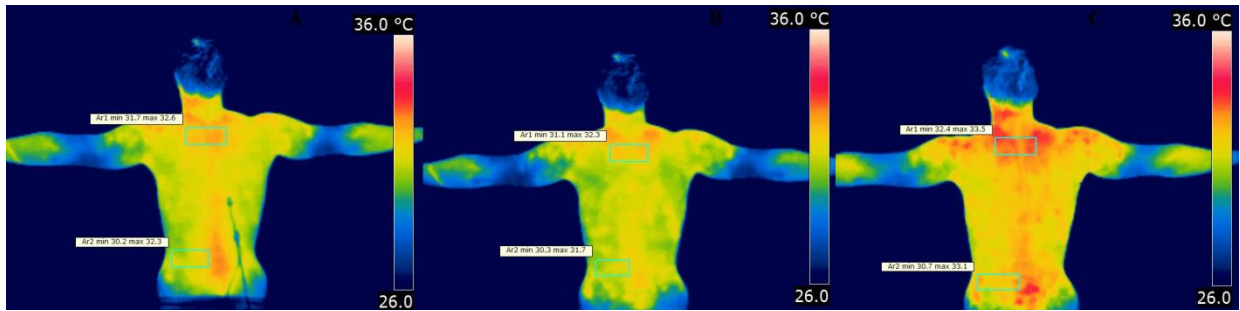


Figura 28. Registo da temperatura mínima e máxima do indivíduo E com duas mochilas nas costas: A - $t=0$, B - $t=5$, C - $t=7$

- Indivíduo F

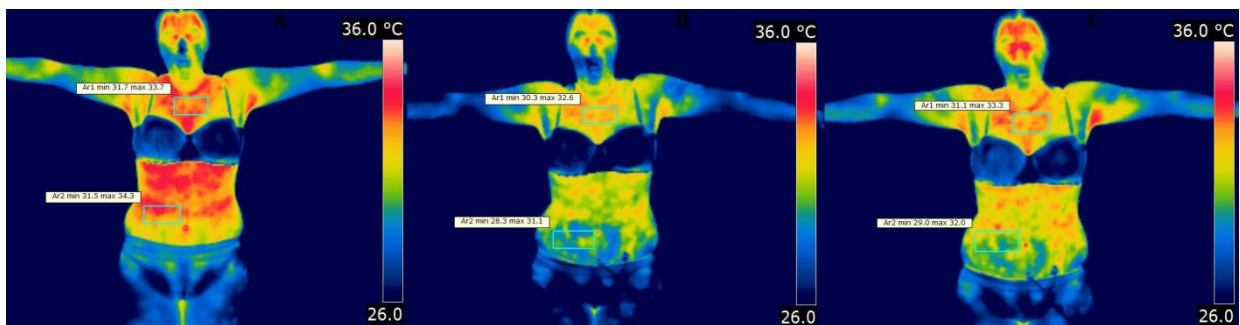


Figura 29. Registo da temperatura mínima e máxima do indivíduo F sem mochila na frente: A - $t=0$, B - $t=5$, C - $t=7$

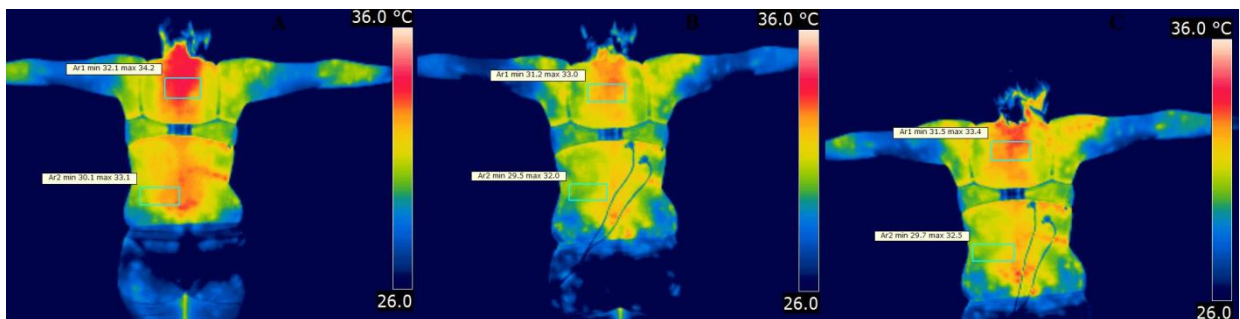


Figura 30. Registo da temperatura mínima e máxima do indivíduo F sem mochila nas costas: A - $t=0$, B - $t=5$, C - $t=7$

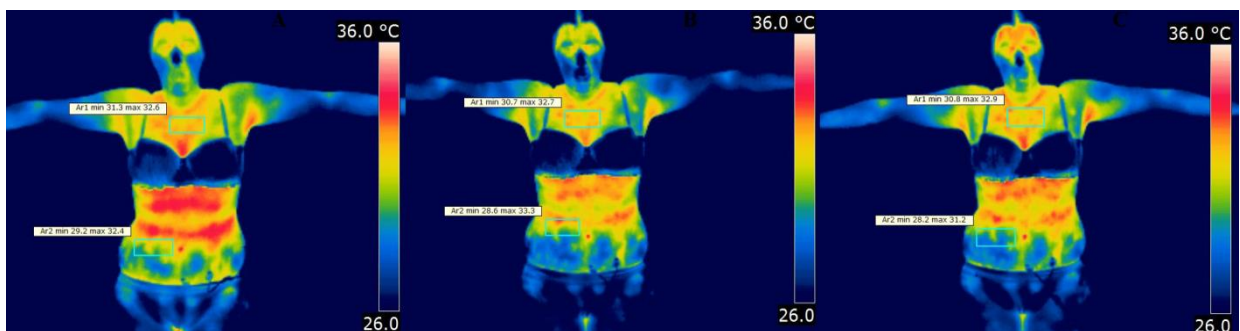


Figura 31. Registo da temperatura mínima e máxima do indivíduo F com uma mochila na frente: A - $t=0$, B - $t=5$, C - $t=7$

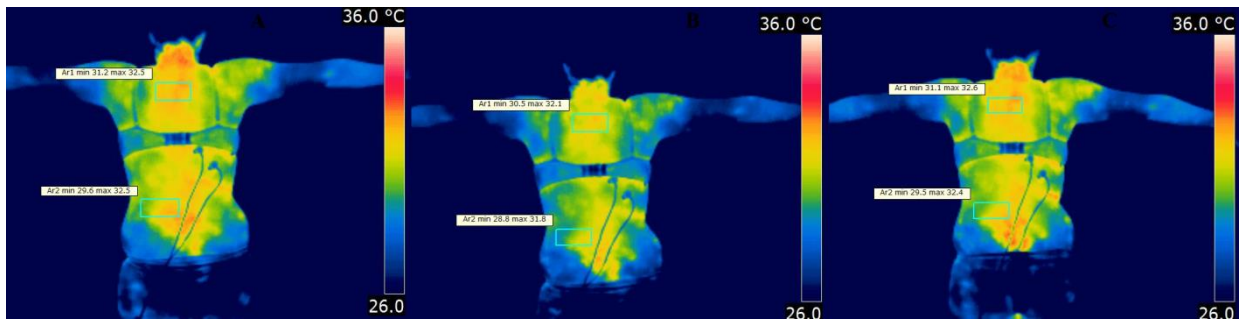


Figura 32. Registo da temperatura mínima e máxima do indivíduo F com uma mochila nas costas: A - $t=0$, B - $t=5$, C - $t=7$

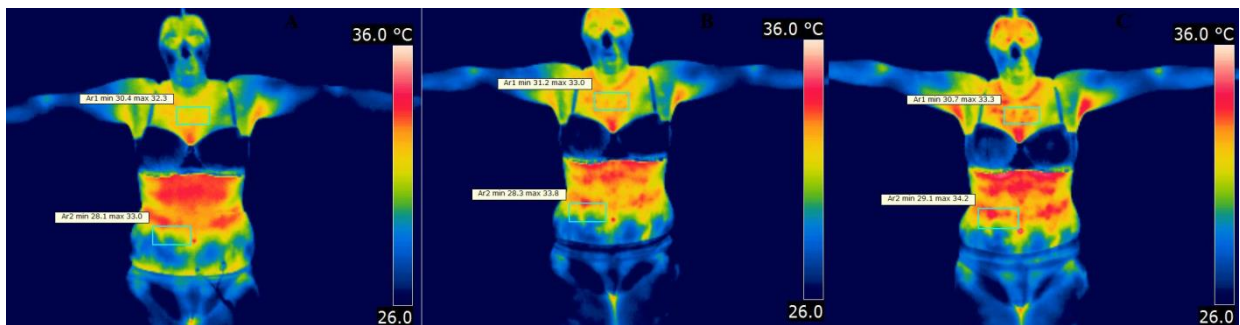


Figura 33. Registo da temperatura mínima e máxima do indivíduo F com duas mochilas na frente: A - $t=0$, B - $t=5$, C - $t=7$

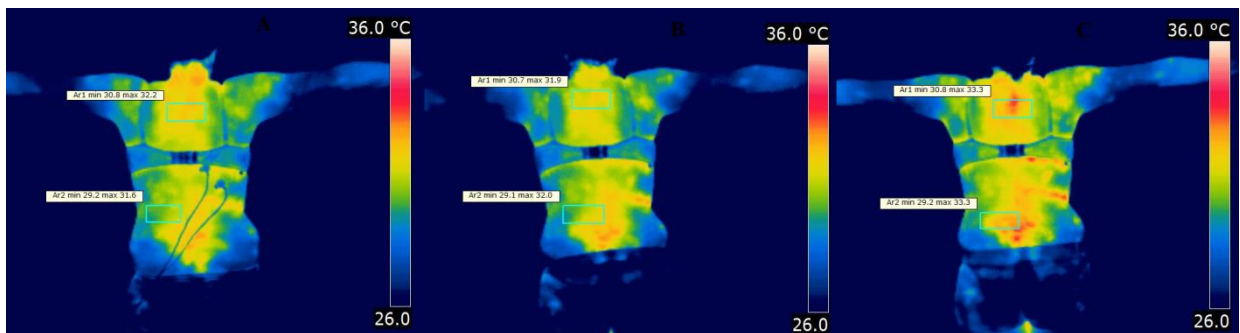


Figura 34. Registo da temperatura mínima e máxima do indivíduo F com duas mochilas nas costas: A - $t=0$, B - $t=5$, C - $t=7$

• Indivíduo G

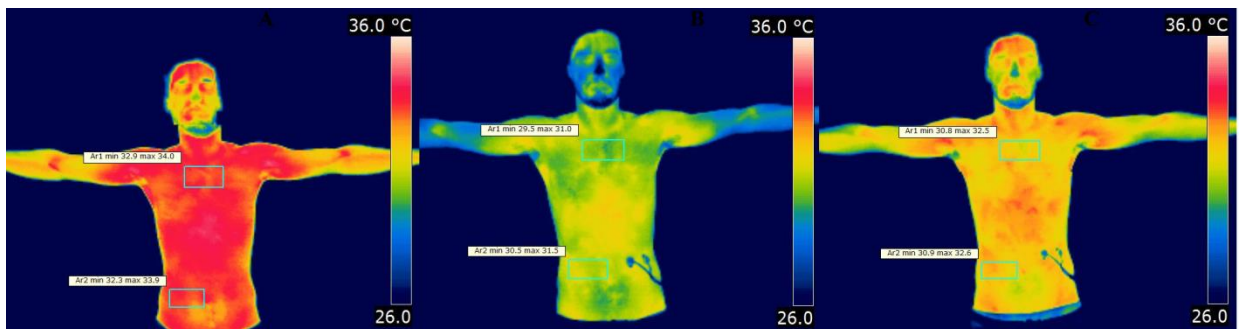


Figura 35. Registo da temperatura mínima e máxima do indivíduo G sem mochila na frente: A - $t=0$, B - $t=5$, C - $t=7$

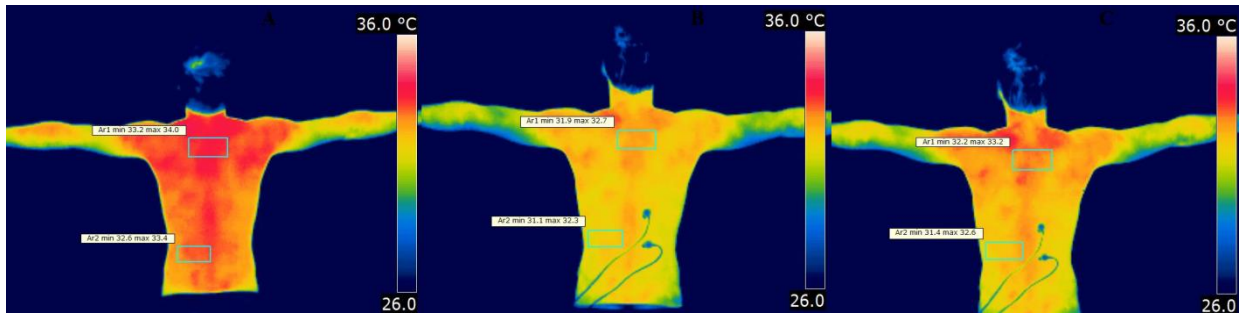


Figura 36. Registo da temperatura mínima e máxima do indivíduo G sem mochila nas costas: A - $t=0$, B - $t=5$, C - $t=7$

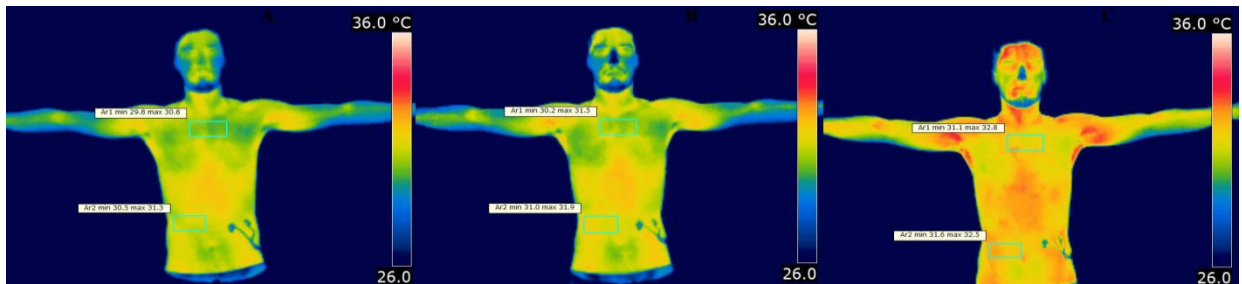


Figura 37. Registo da temperatura mínima e máxima do indivíduo G com uma mochila na frente: A - $t=0$, B - $t=5$, C - $t=7$

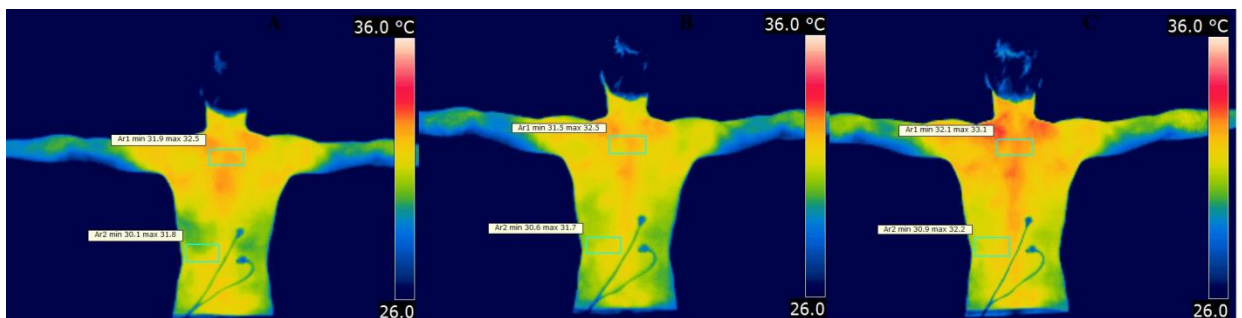


Figura 38. Registo da temperatura mínima e máxima do indivíduo G com uma mochila nas costas: A - $t=0$, B - $t=5$, C - $t=7$

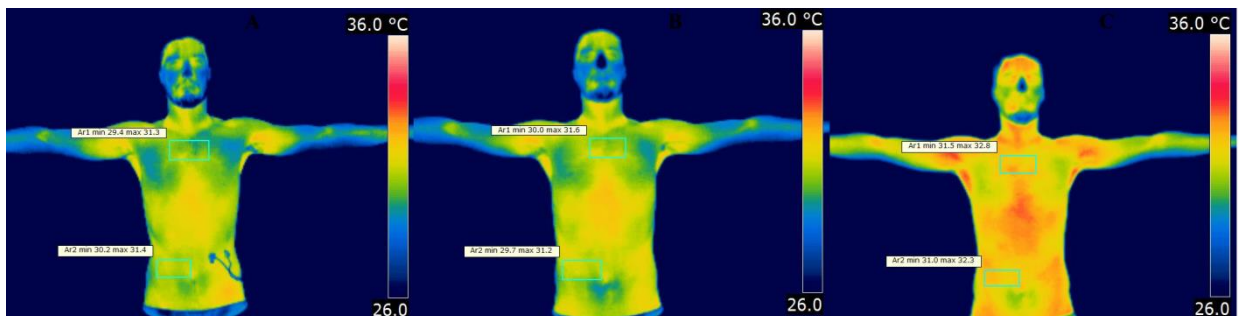


Figura 39. Registo da temperatura mínima e máxima do indivíduo G com duas mochilas na frente: A - $t=0$, B - $t=5$, C - $t=7$

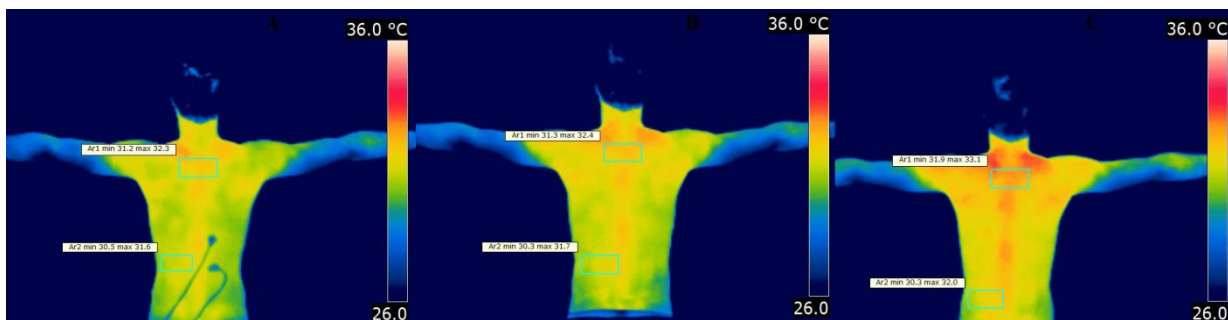


Figura 40. Registo da temperatura mínima e máxima do indivíduo G com duas mochilas nas costas: A - $t=0$, B - $t=5$, C - $t=7$

- Indivíduo H

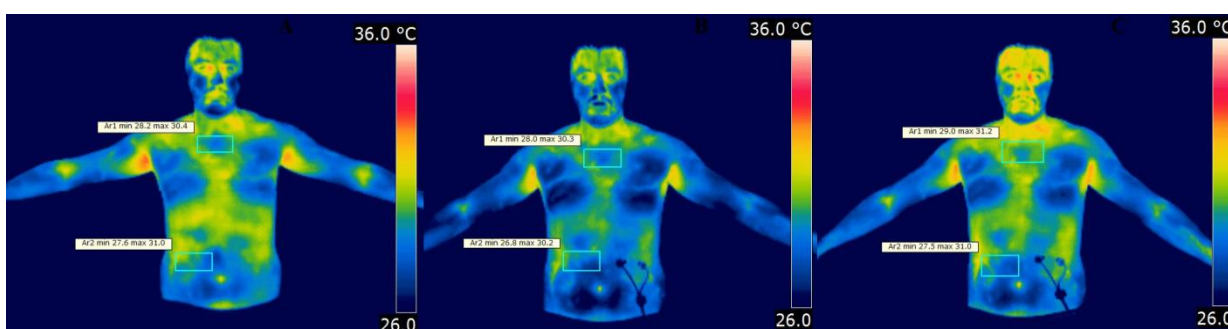


Figura 41. Registo da temperatura mínima e máxima do indivíduo H sem mochila na frente: A - $t=0$, B - $t=5$, C - $t=7$

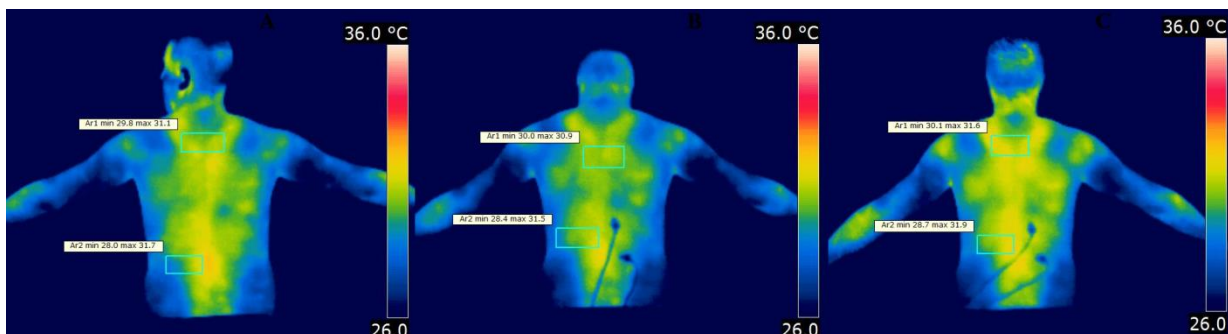


Figura 42. Registo da temperatura mínima e máxima do indivíduo H sem mochila nas costas: A - $t=0$, B - $t=5$, C - $t=7$

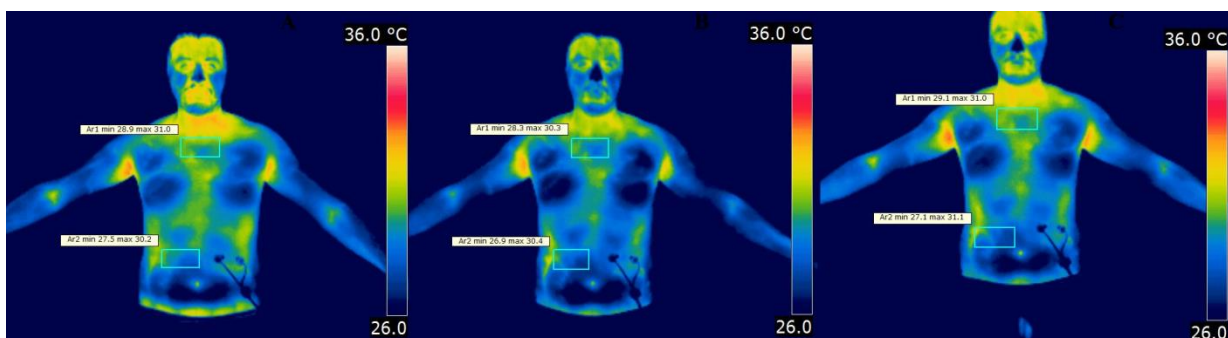


Figura 43. Registo da temperatura mínima e máxima do indivíduo H com uma mochila na frente: A - $t=0$, B - $t=5$, C - $t=7$

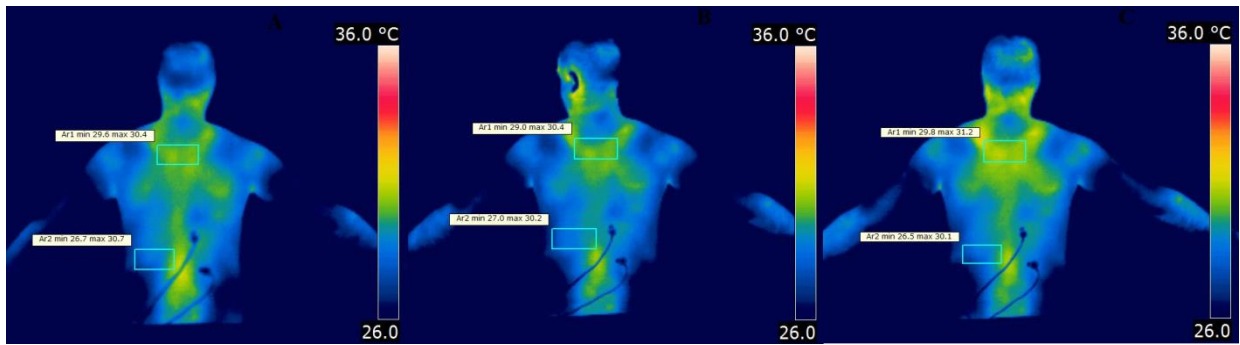


Figura 44. Registo da temperatura mínima e máxima do indivíduo H com uma mochila nas costas: A - $t=0$, B - $t=5$, C - $t=7$

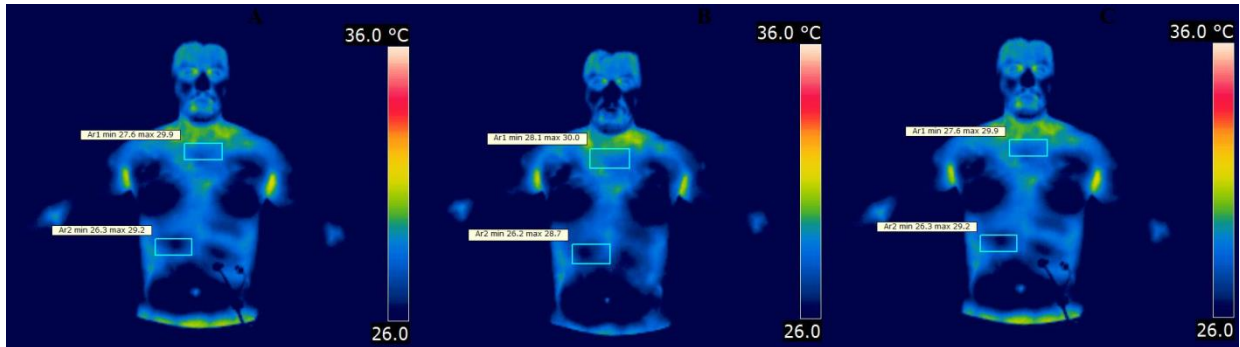


Figura 45. Registo da temperatura mínima e máxima do indivíduo H com duas mochilas na frente: A - $t=0$, B - $t=5$, C - $t=7$

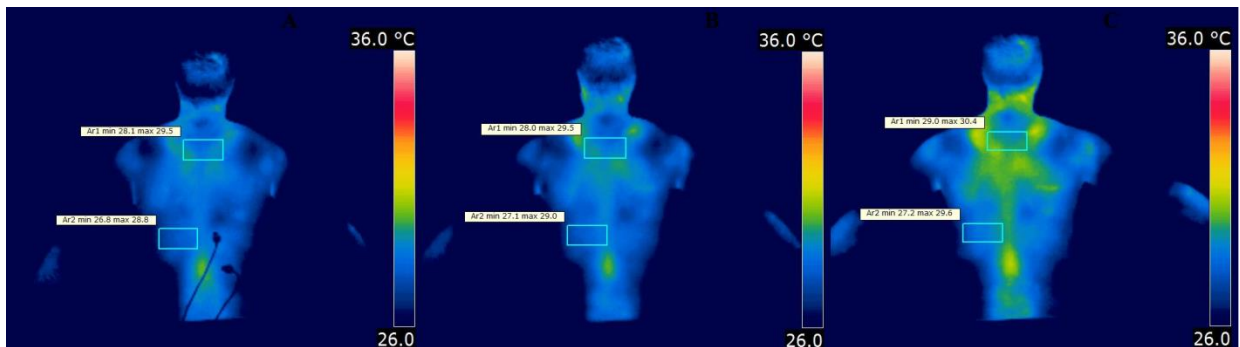


Figura 46. Registo da temperatura mínima e máxima do indivíduo H com duas mochilas nas costas: A - $t=0$, B - $t=5$, C - $t=7$

• Indivíduo I

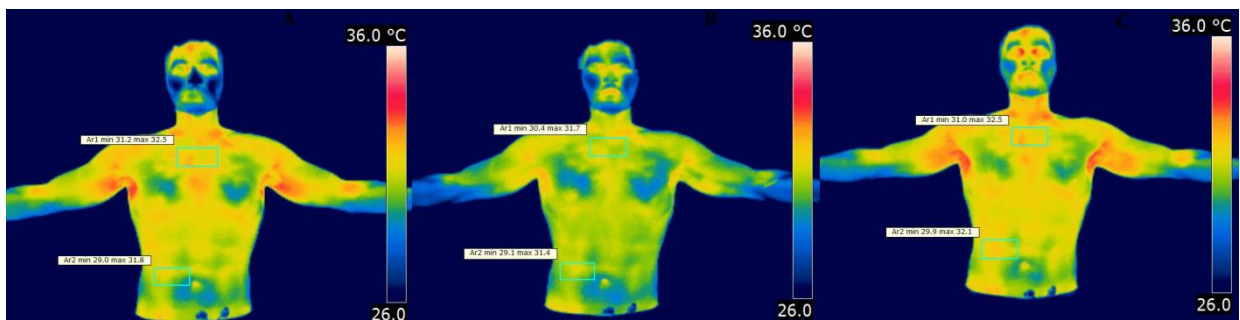


Figura 47. Registo da temperatura mínima e máxima do indivíduo I sem mochila na frente: A - $t=0$, B - $t=5$, C - $t=7$

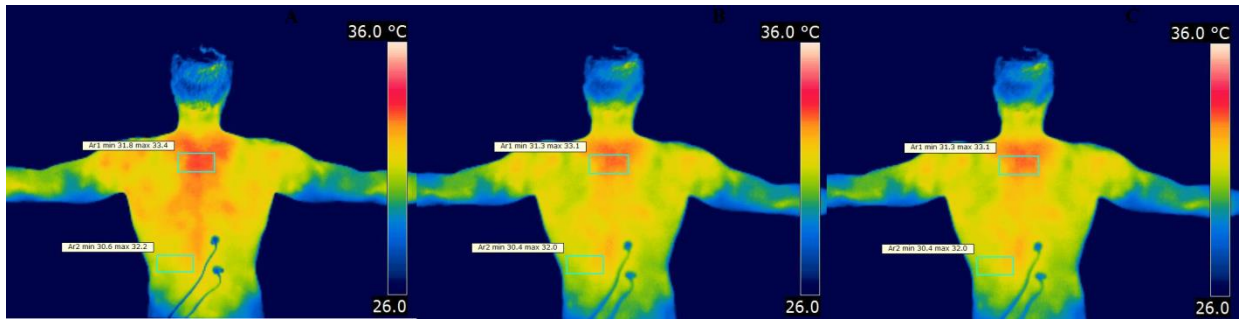


Figura 48. Registo da temperatura mínima e máxima do indivíduo I sem mochila nas costas: A - $t=0$, B - $t=5$, C - $t=7$

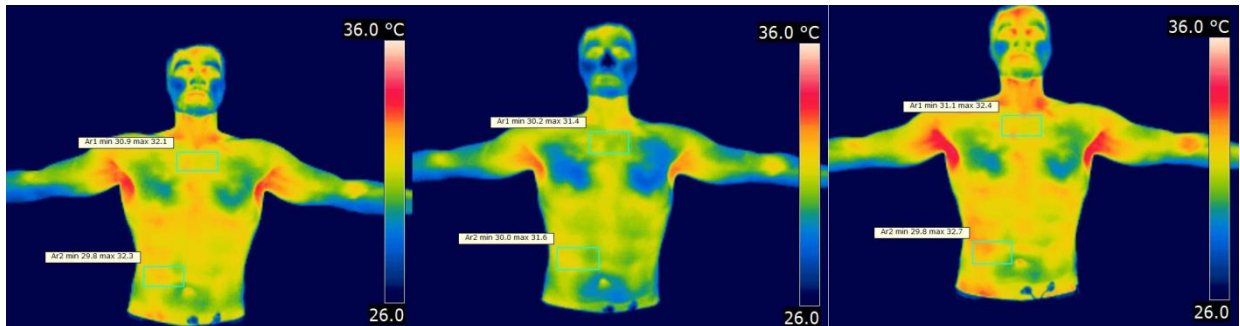


Figura 49. Registo da temperatura mínima e máxima do indivíduo I com uma mochila na frente: A - $t=0$, B - $t=5$, C - $t=7$

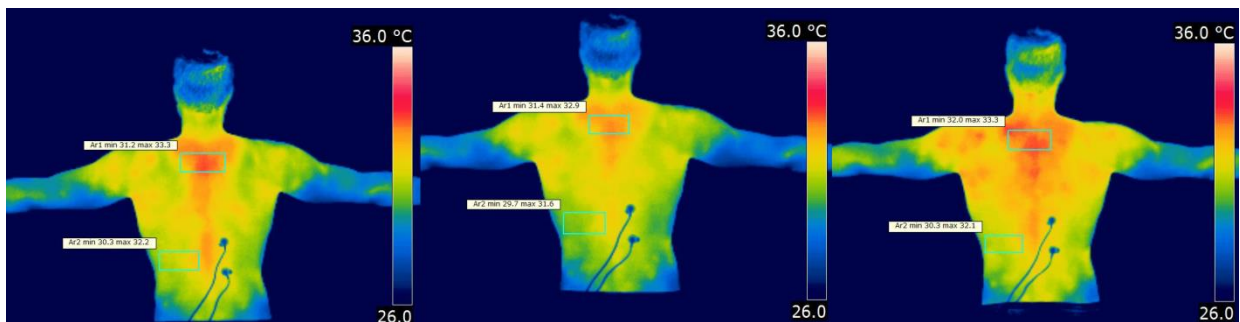


Figura 50. Registo da temperatura mínima e máxima do indivíduo I com uma mochila nas costas: A - $t=0$, B - $t=5$, C - $t=7$

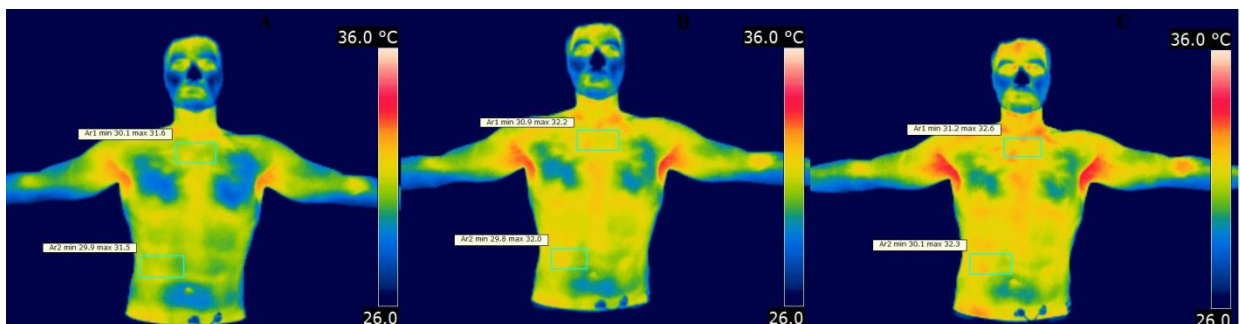


Figura 51. Registo da temperatura mínima e máxima do indivíduo I com duas mochilas na frente: A - $t=0$, B - $t=5$, C - $t=7$

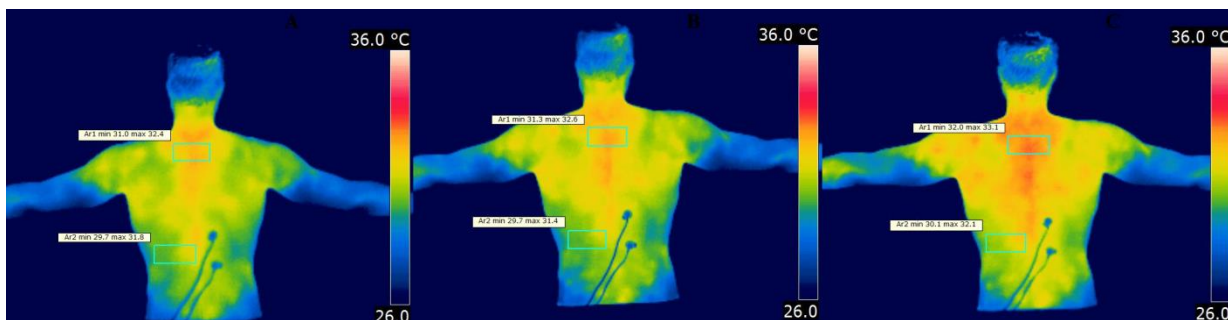


Figura 52. Registo da temperatura mínima e máxima do indivíduo I com duas mochilas nas costas: A - $t=0$, B - $t=5$, C - $t=7$

Anexo B



Figura 53. Marcação dos ângulos do indivíduo B: A – Sem Mochila, B – Uma Mochila, C – Duas Mochilas

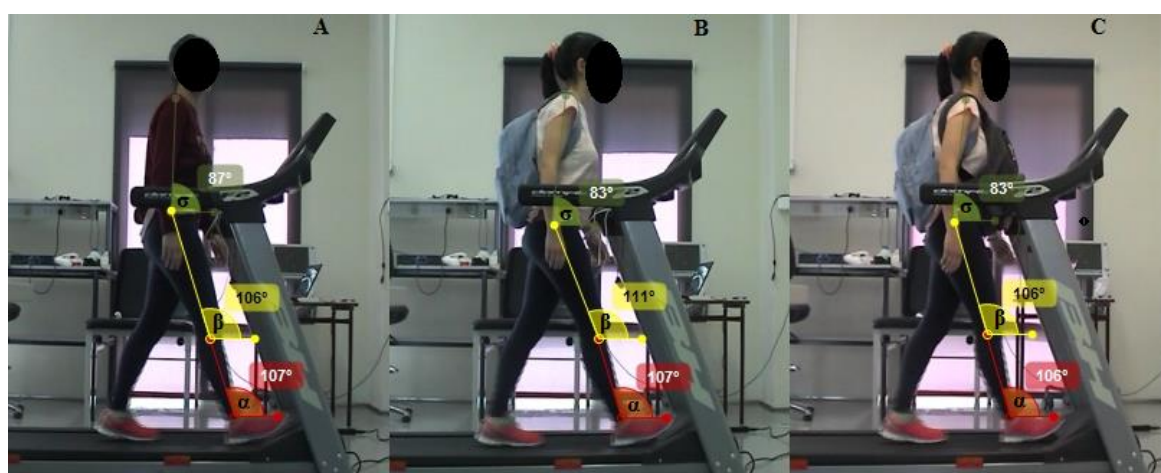


Figura 54. Marcação dos ângulos do indivíduo C: A - Sem Mochila, B - Uma Mochila, C - Duas Mochilas



Figura 55. Marcação dos ângulos do indivíduo D: A - Sem Mochila, B - Uma Mochila, C - Duas Mochilas



Figura 56. Marcação dos ângulos do indivíduo E: A - Sem Mochila, B - Uma Mochila, C - Duas Mochilas

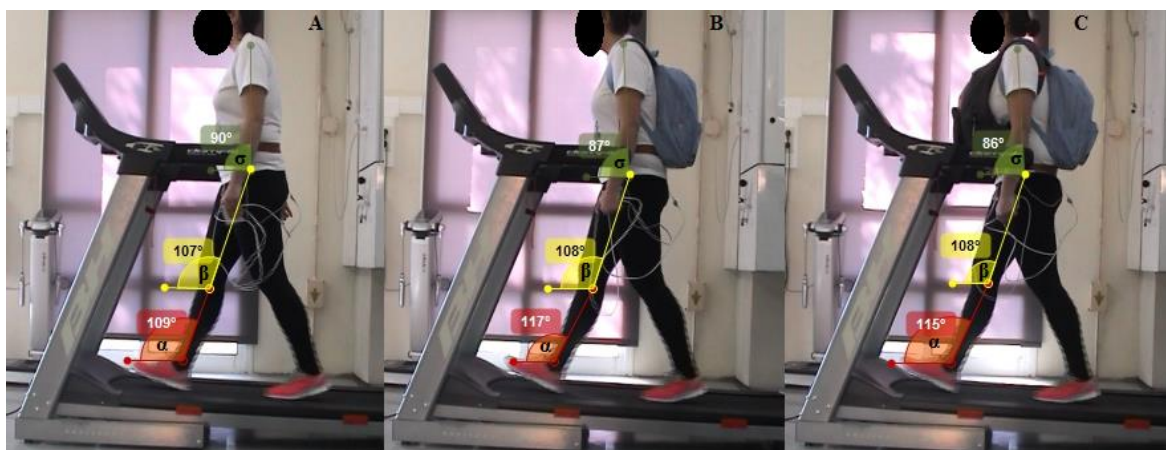


Figura 57. Marcação dos ângulos do indivíduo F: A - Sem Mochila, B - Uma Mochila, C - Duas Mochilas



Figura 58. Marcação dos ângulos do indivíduo G: A - Sem Mochila, B - Uma Mochila, C - Duas Mochilas



Figura 59. Marcação dos ângulos para o indivíduo H: A - Sem Mochila B - Uma Mochila, C - Duas Mochilas



Figura 60. Marcação dos ângulos para o indivíduo I: A - Sem Mochila, B - Uma Mochila, C - Duas Mochilas

Anexo C

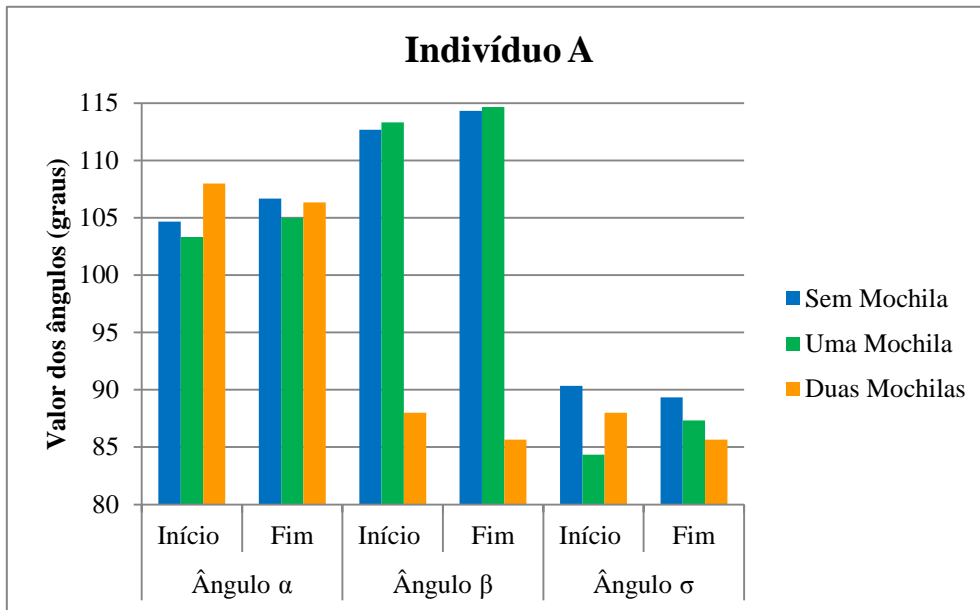


Figura 61. Valor dos ângulos do Indivíduo A

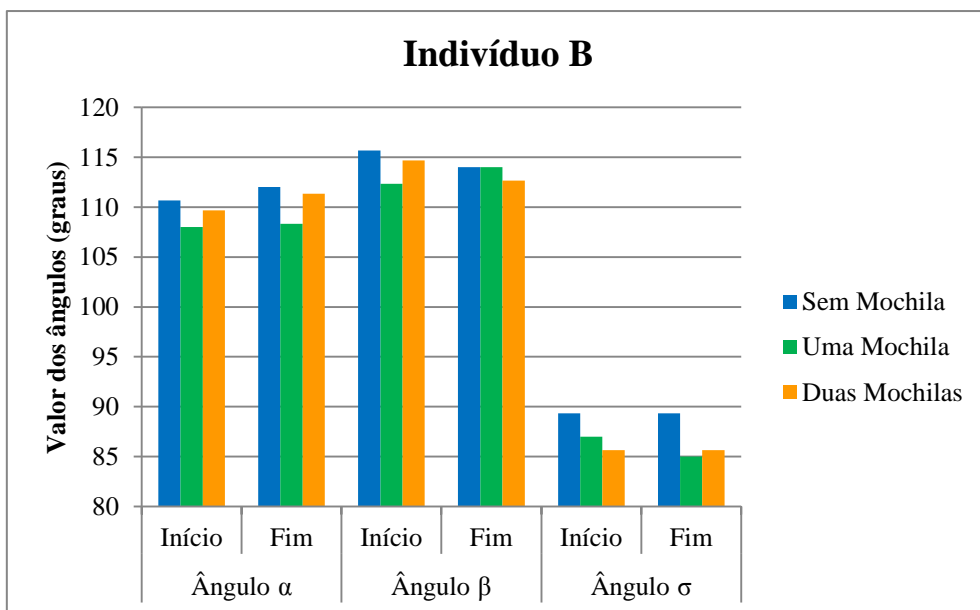


Figura 62. Valor dos ângulos do Indivíduo B

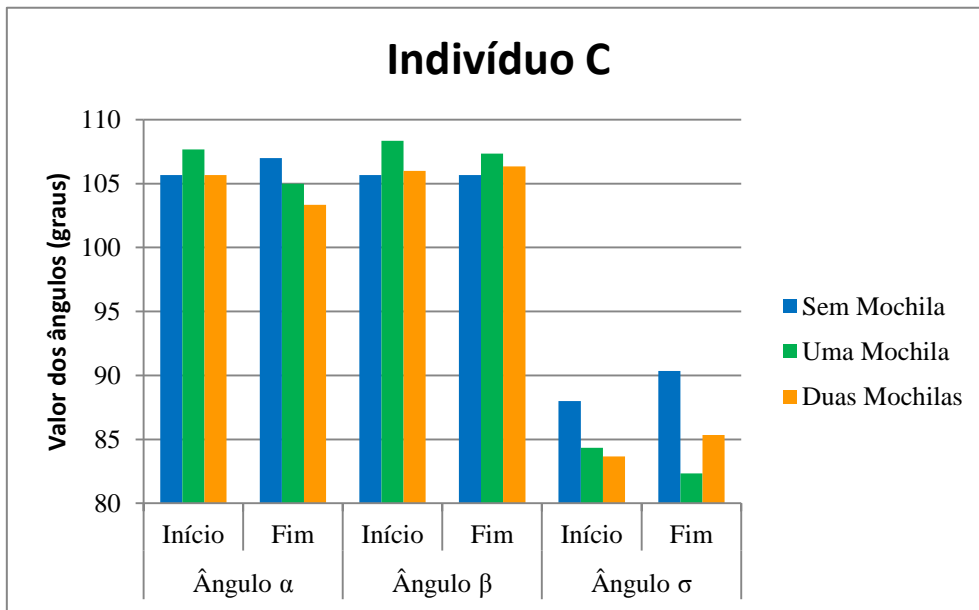


Figura 63. Valor dos ângulos do Indivíduo C

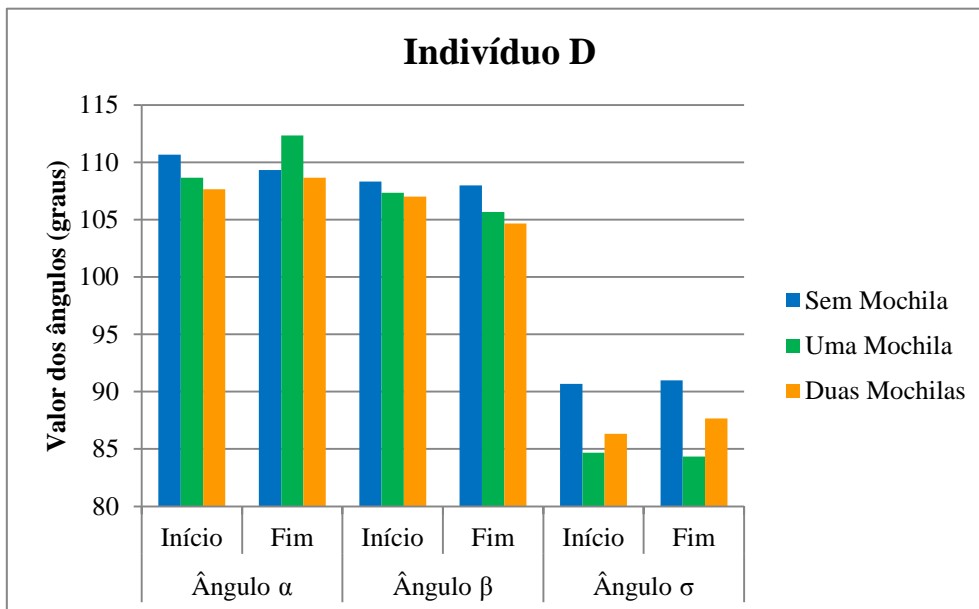


Figura 64. Valor dos ângulos do Indivíduo D

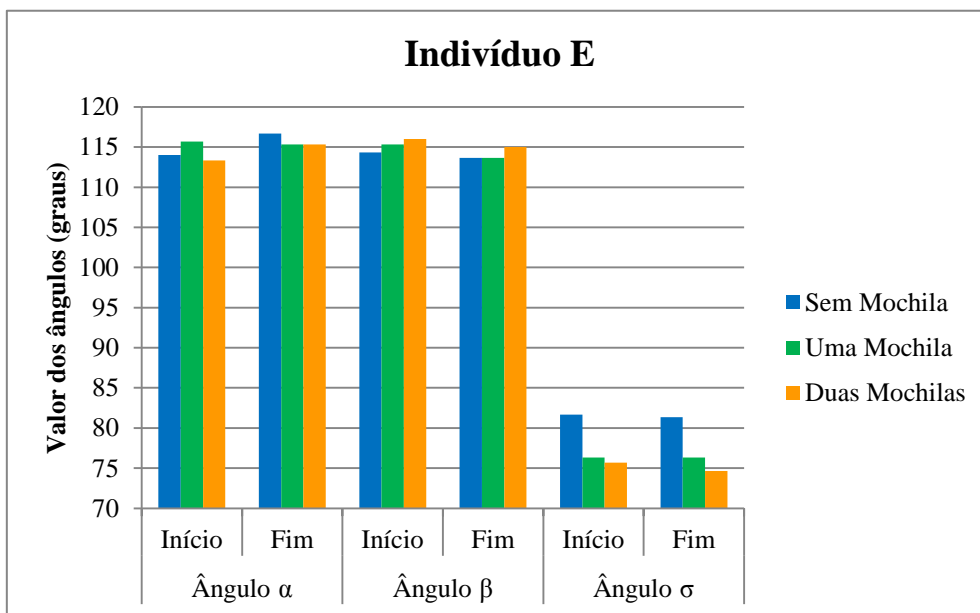


Figura 65. Valor dos ângulos do Indivíduo E

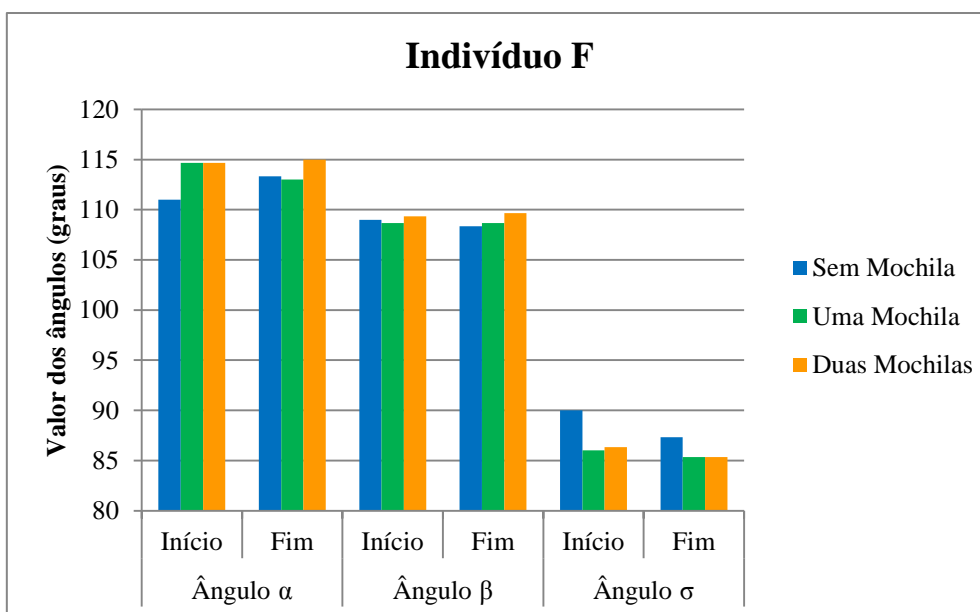


Figura 66. Valor dos ângulos do Indivíduo F

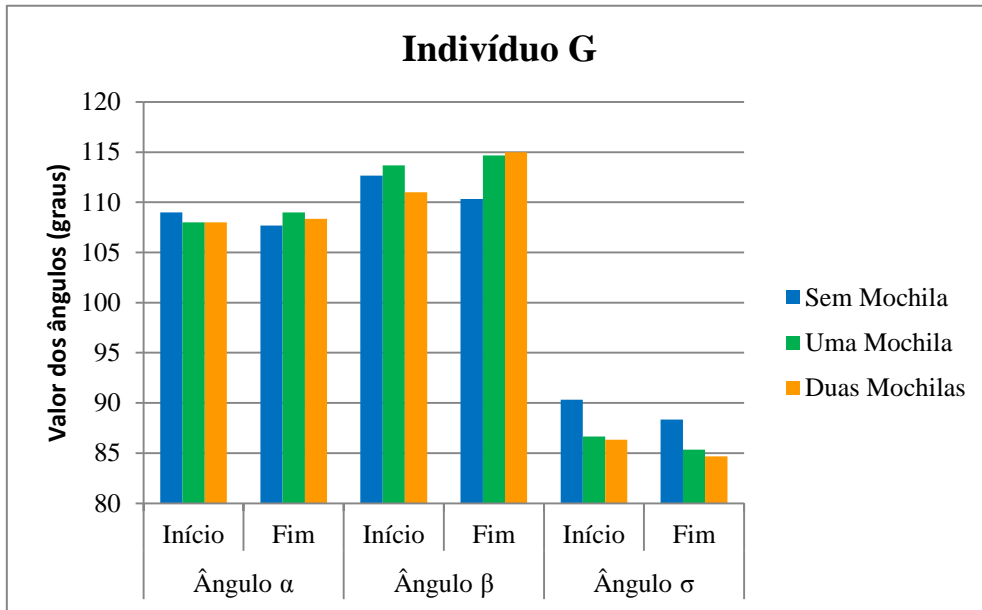


Figura 67. Valor dos ângulos do Indivíduo G

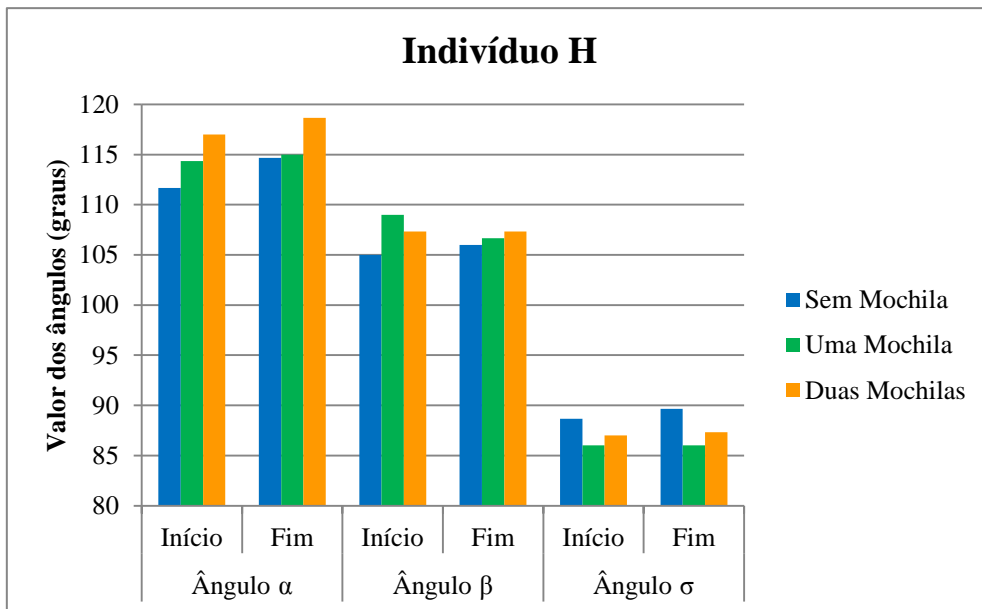


Figura 68. Valor dos ângulos do Indivíduo H

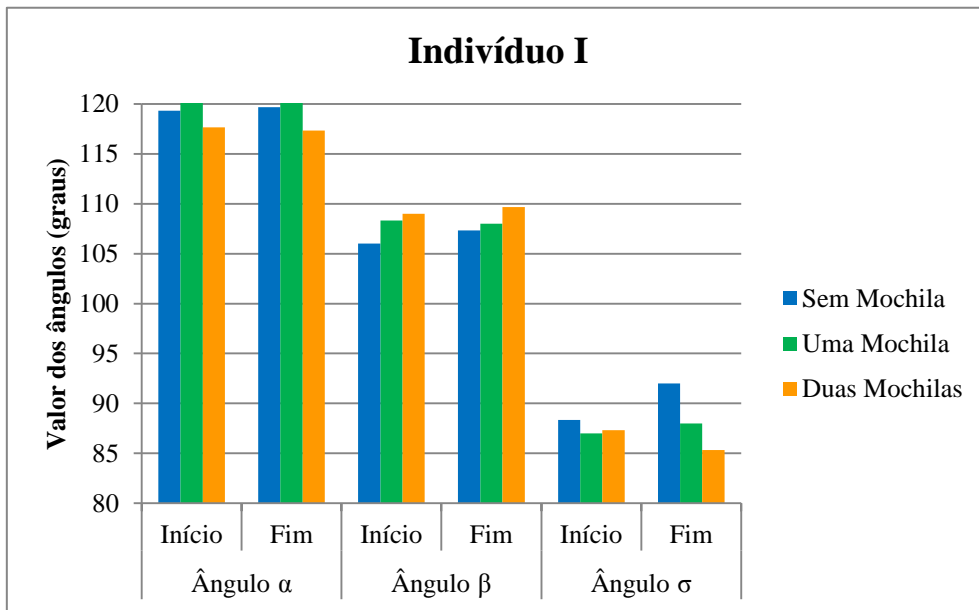


Figura 69. Valor dos ângulos do Indivíduo I

Anexo D

- Músculo Eretor da Coluna

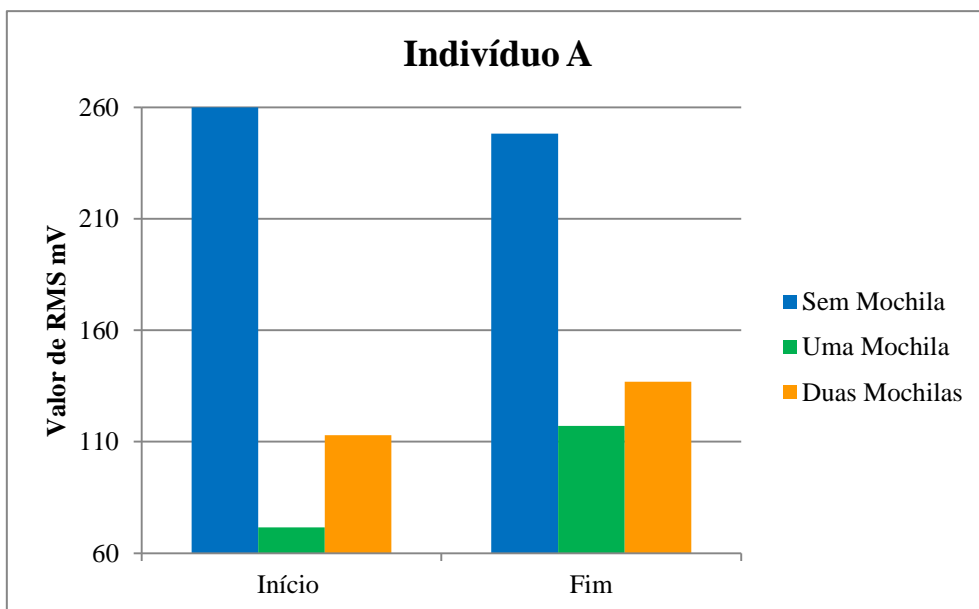


Figura 70. Valor do sinal RMS no músculo eretor da coluna no Indivíduo A

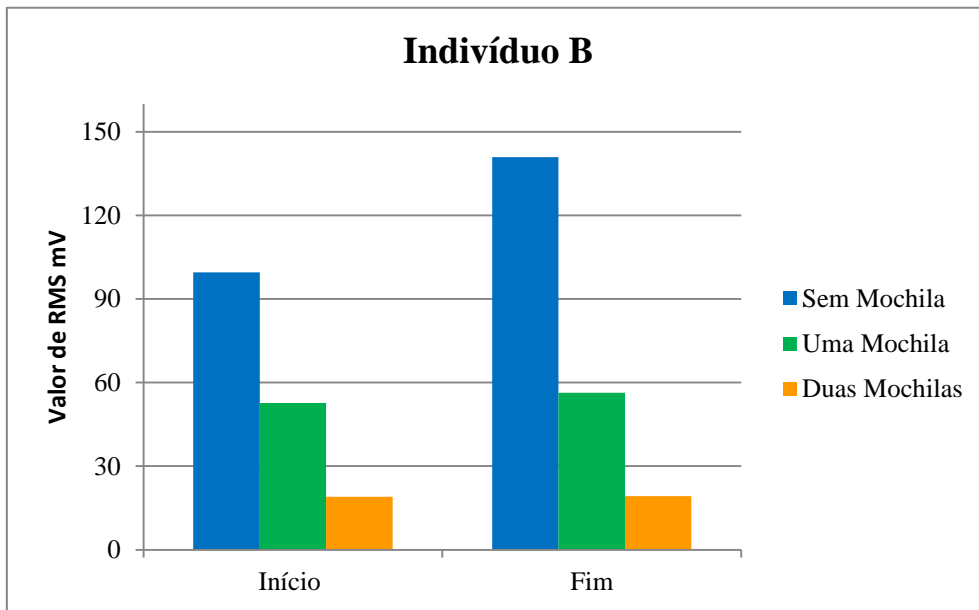


Figura 71. Valor do sinal RMS no músculo eretor da coluna no Indivíduo B

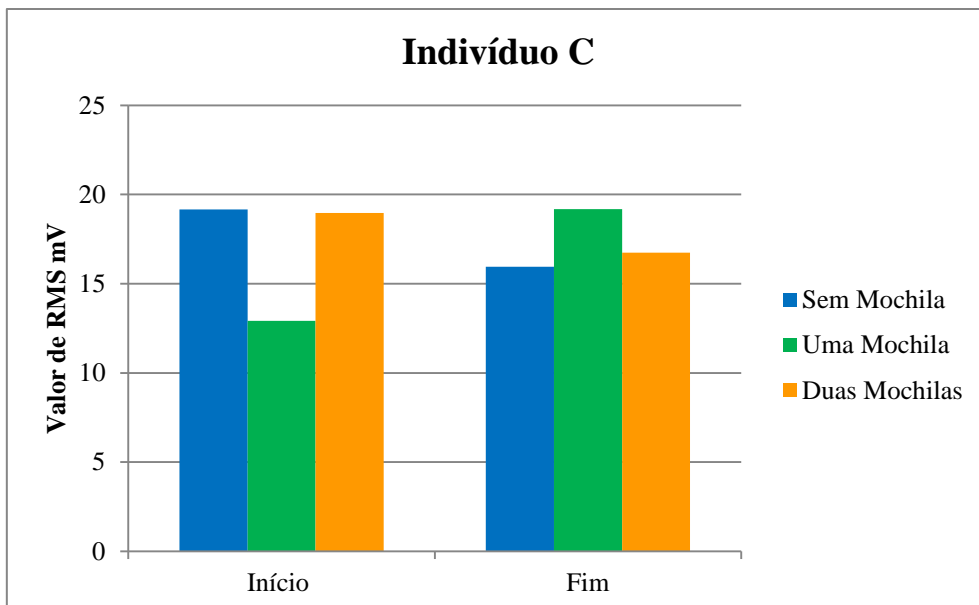


Figura 72. Valor do sinal RMS no músculo eretor da coluna no Indivíduo C

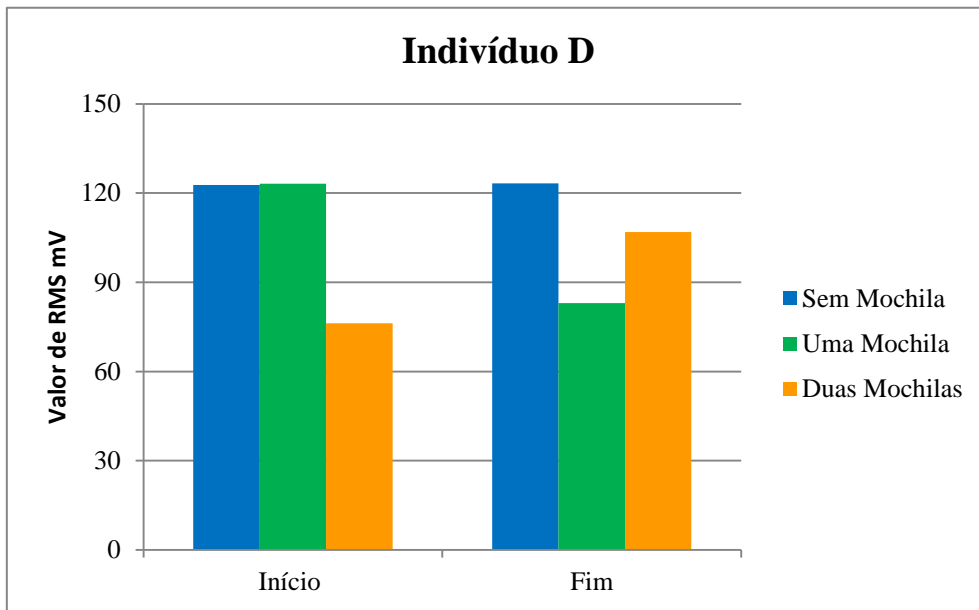


Figura 73. Valor do sinal RMS no músculo eretor da coluna no Indivíduo D

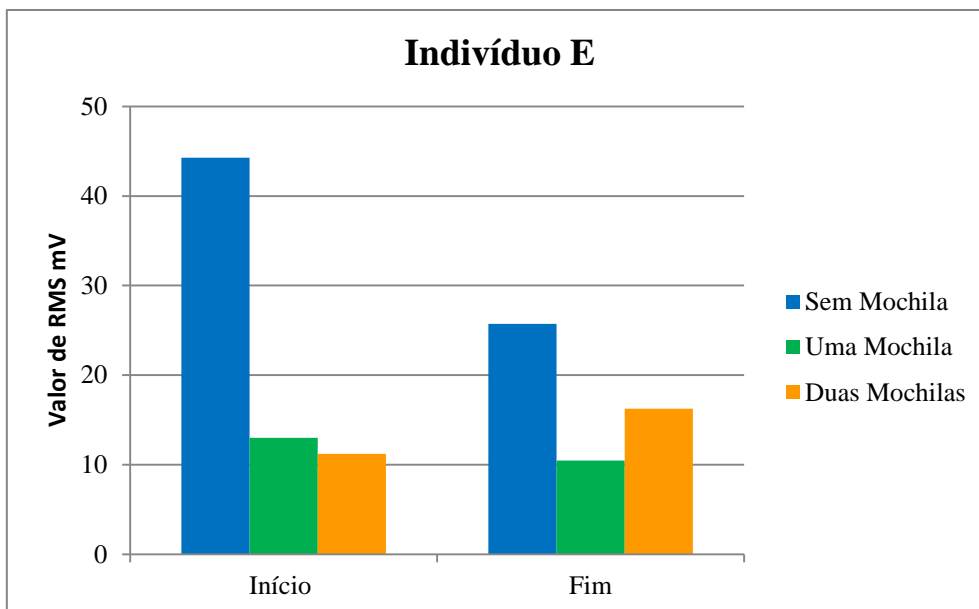


Figura 74. Valor do sinal RMS no músculo eretor da coluna no Indivíduo E

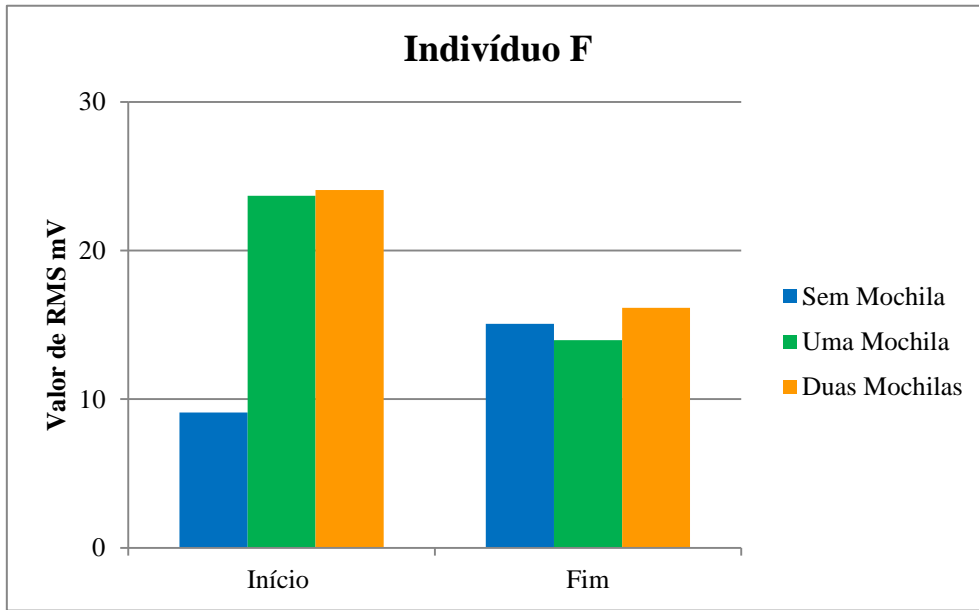


Figura 75. Valor do sinal RMS no músculo eretor da coluna no Indivíduo F

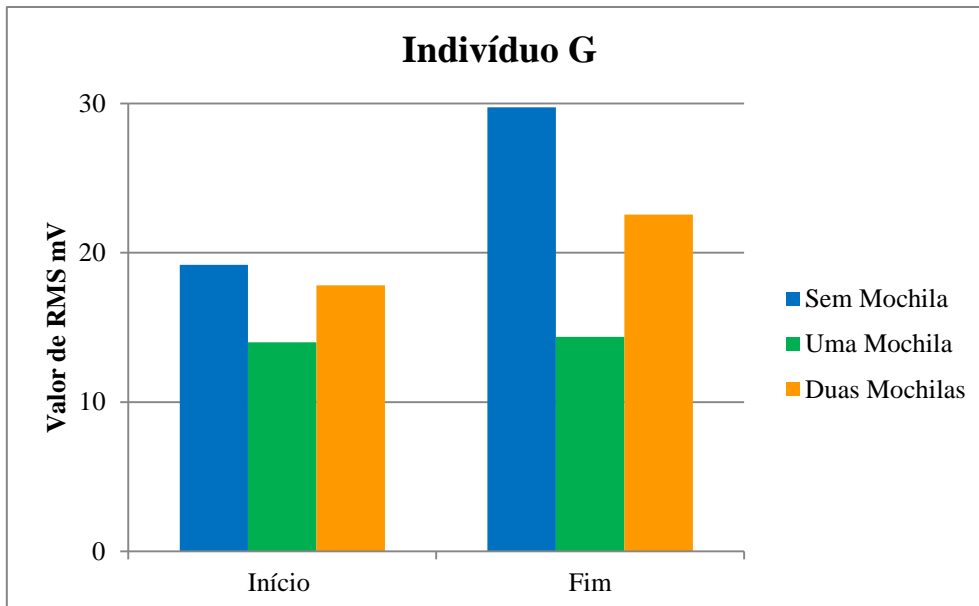


Figura 76. Valor do sinal RMS no músculo eretor da coluna no Indivíduo G

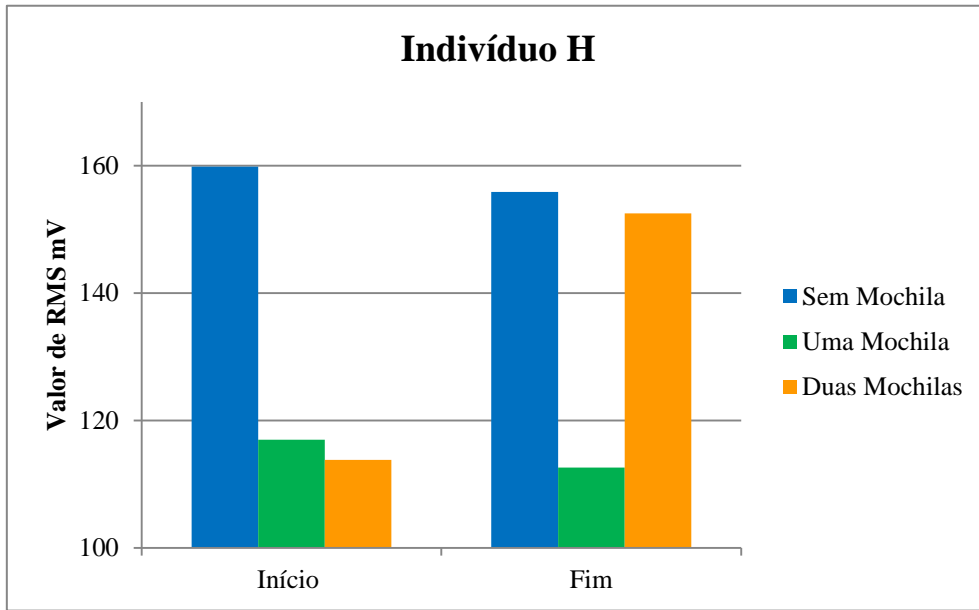


Figura 77. Valor do sinal RMS no músculo eretor da coluna no Indivíduo H

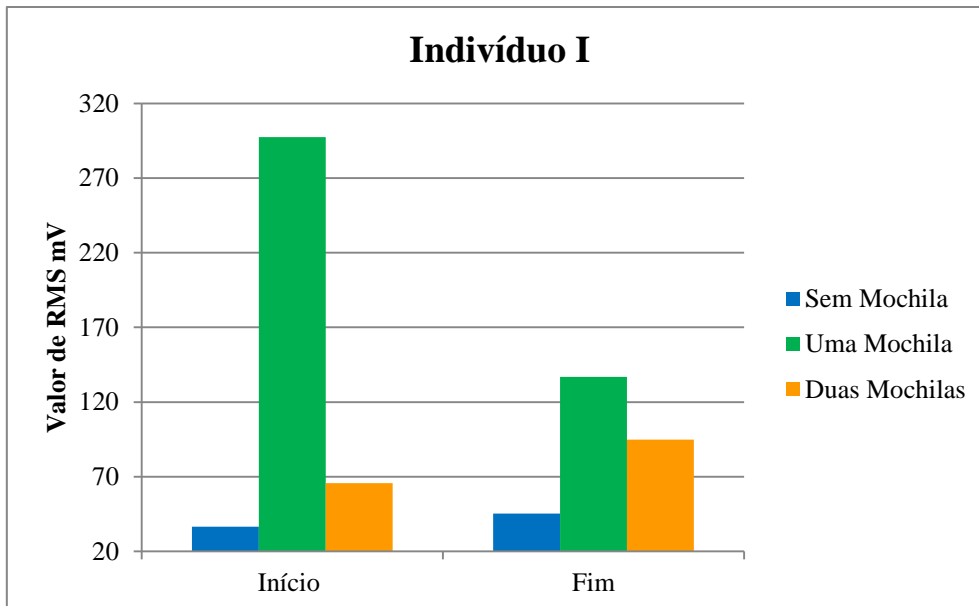


Figura 78. Valor do sinal RMS no músculo eretor da coluna no Indivíduo I

- **Músculo Transverso Abdominal**

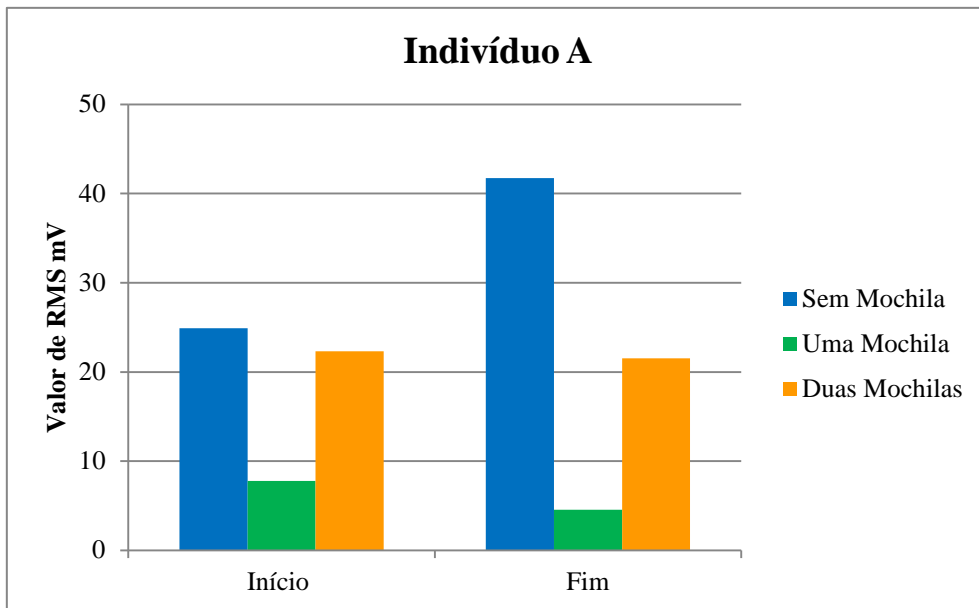


Figura 79. Valor do sinal RMS no músculo transverso abdominal no Indivíduo A

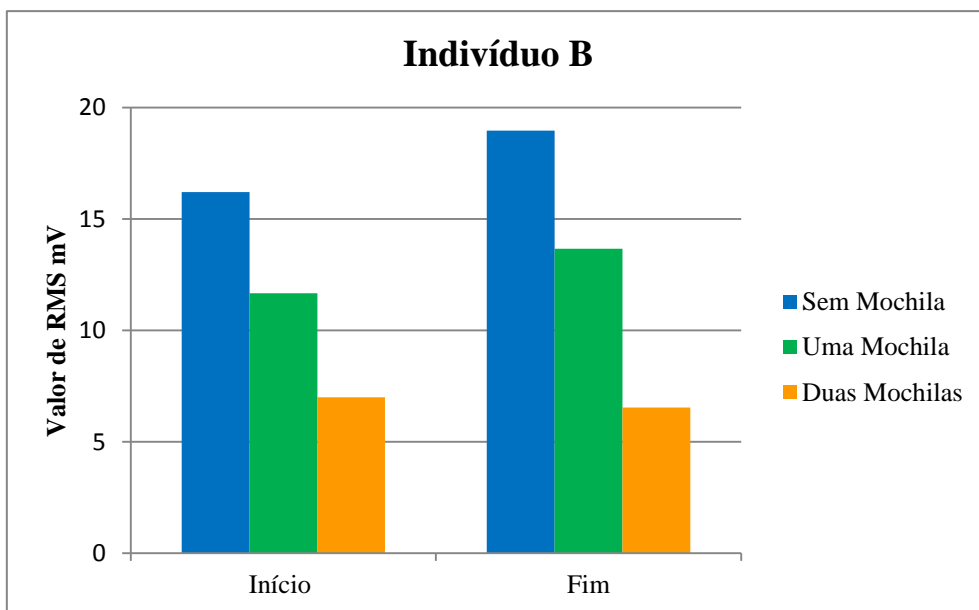


Figura 80. Valor do sinal RMS no músculo transverso abdominal no Indivíduo B

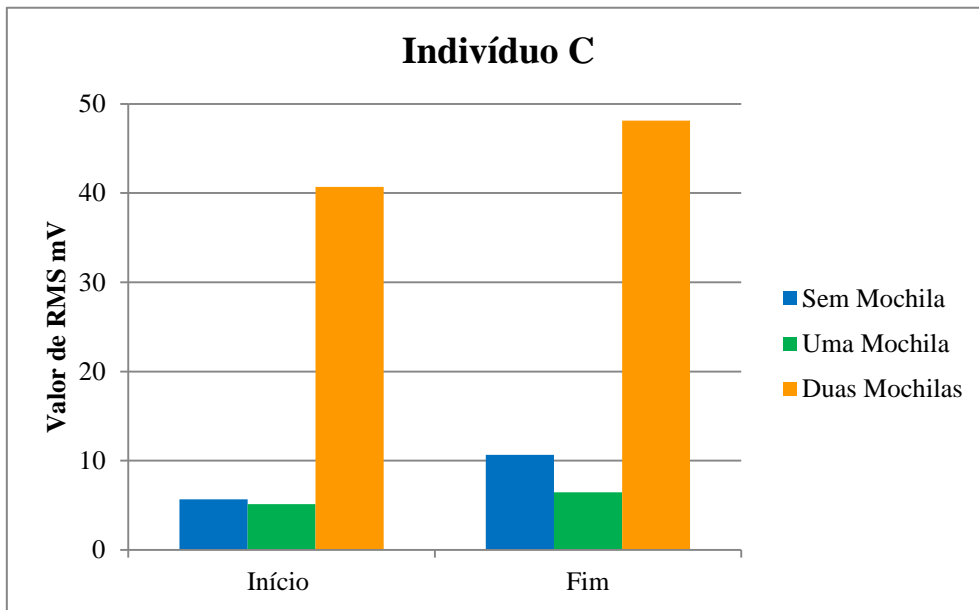


Figura 81. Valor do sinal RMS no músculo transverso abdominal no Indivíduo C

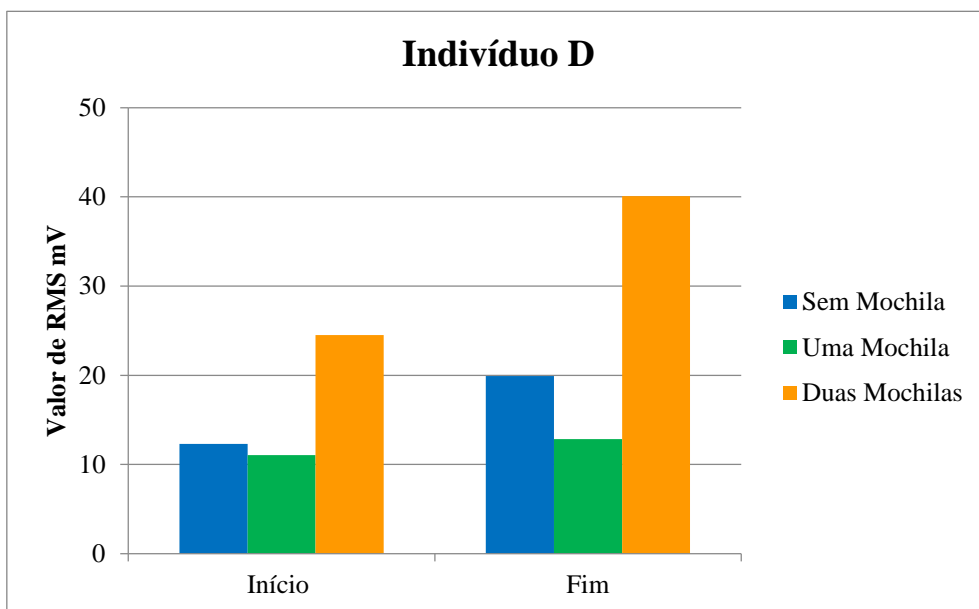


Figura 82. Valor do sinal RMS no músculo transverso abdominal no Indivíduo D

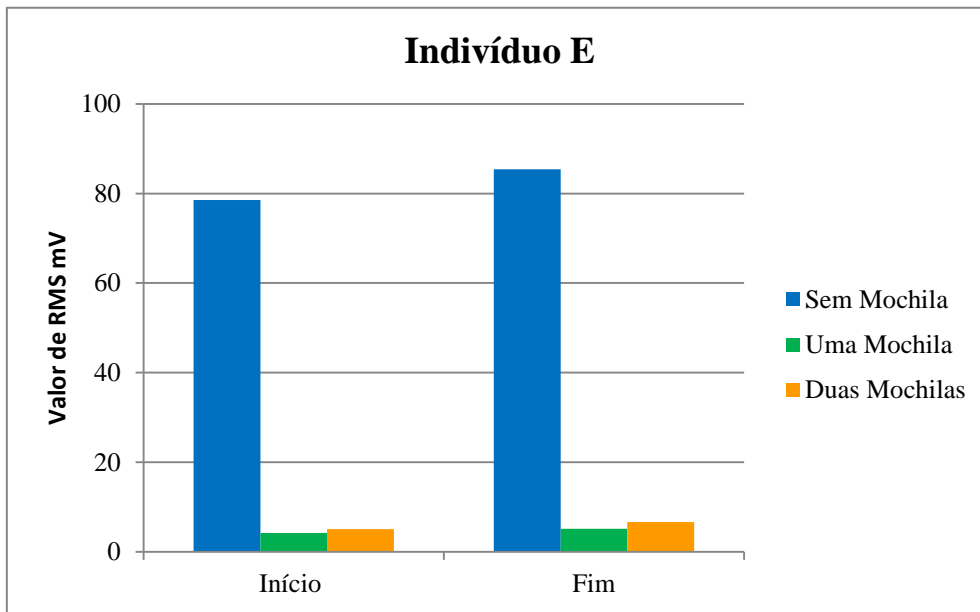


Figura 83. Valor do sinal RMS no músculo transverso abdominal no Indivíduo E

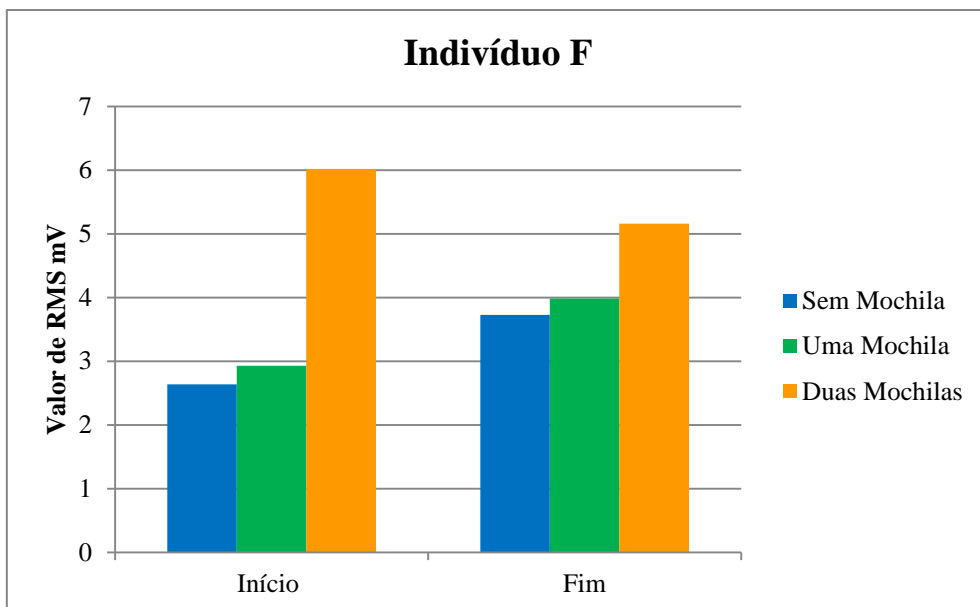


Figura 84. Valor do sinal RMS no músculo transverso abdominal no Indivíduo F

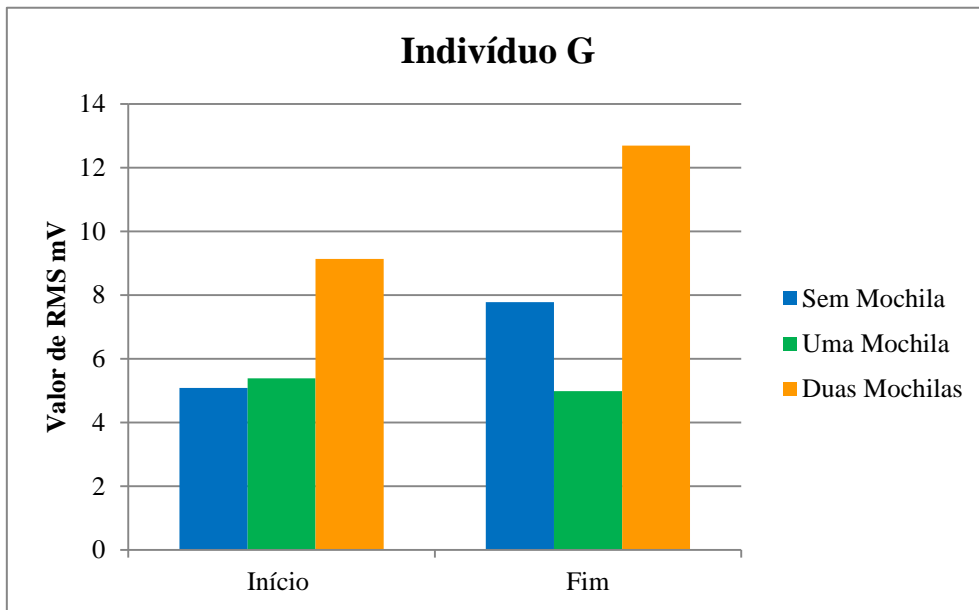


Figura 85. Valor do sinal RMS no músculo transverso abdominal no Indivíduo G

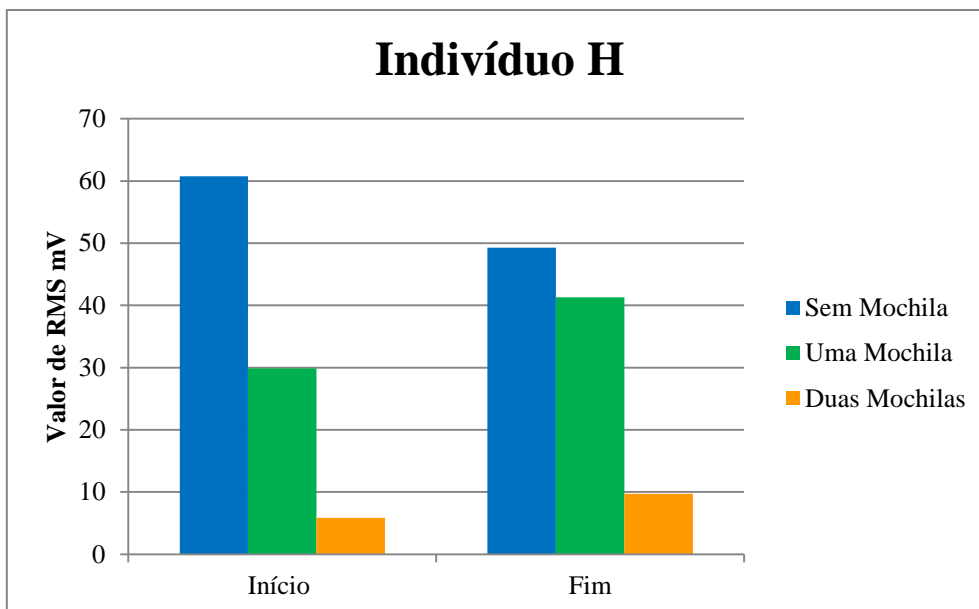


Figura 86. Valor do sinal RMS no músculo transverso abdominal no Indivíduo H

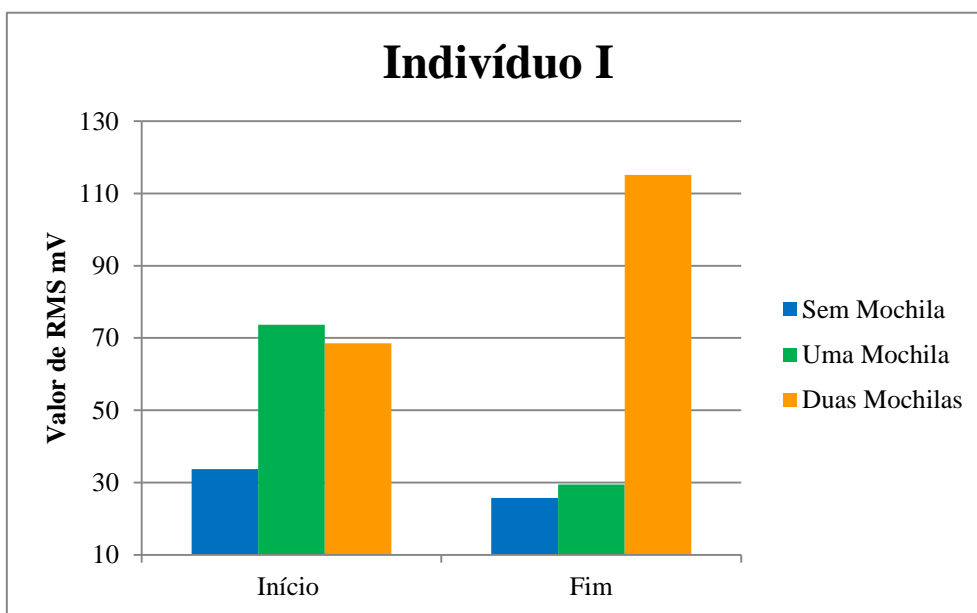


Figura 87. Valor do sinal RMS no músculo transverso abdominal no Indivíduo I