

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo mostra os materiais e a metodologia empregada para a execução desta pesquisa, tecendo considerações sobre os participantes, os calçados militares testados, os equipamentos utilizados para a avaliação, o protocolo experimental seguido, e, por fim, o processamento e análise dos sinais realizados.

3.1. AMOSTRA

De acordo com Iida (2005, p.46), “em ergonomia, certos experimentos podem ser direcionados para determinados tipos de pessoas que possuam características semelhantes aos dos futuros usuários do sistema ou produto que se quer desenvolver”.

Partindo desta premissa, participaram dos experimentos 11 sujeitos do gênero masculino, sem lesão no aparelho locomotor e com pelo menos seis meses de experiência militar. Tal medida foi adotada para que não houvesse problemas de adequação aos calçados no comportamento da marcha que pudesse influenciar o caminhar natural ao utilizar o coturno. Além disso, os indivíduos foram selecionados dentre voluntários que praticam atividade física regular, com numeração do calçado de 40 a 42 (sistema brasileiro), por restrições dos calçados disponíveis para teste. Para assegurar as condições de uniformidade dos testes com relação aos calçados, todos os sujeitos receberam um coturno de cada modelo, todos novos, e realizaram todos os testes cada um com seus pares de coturno. Porém, dos 11 sujeitos avaliados, somente 10 foram considerados para análise, pois o sinal de acelerometria de um dos elementos apresentou falhas durante a aquisição e não pode ser aproveitado.

Cada sujeito assinou um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido aprovado juntamente com o Projeto de Pesquisa pelo Comitê de Ética e Pesquisa do Hospital de Força Aérea do Galeão (Parecer Consubstanciado CEPHFAG 05/2011, Projeto FR-408624/11, aprovado em 01/06/2011). O Parecer de

aprovação do Projeto de Pesquisa e o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido estão nos *Apêndices A e B*, respectivamente.

Os 10 soldados tinham idade média de $19,1 \pm 0,3$ anos, massa corporal de $69,04 \pm 7,11$ kg, estatura $1,736 \pm 0,049$ m, e índice de massa corporal (IMC) de $22,91 \pm 2,30$ kg/m², sendo tais medidas realizadas utilizando uma balança com precisão de 0,05 kg (Filizola, Brasil) e um estadiômetro com precisão de 0,001m (Sanny, São Paulo).

3.2. CALÇADOS MILITARES

Como apresentado na fundamentação teórica (Seção 2.1 do Capítulo 2), para esta pesquisa houve o interesse em estudar os tipos de calçados adotados por maior parte dos militares do Exército Brasileiro. Dentre eles estão: o coturno comum (CC) de lona preta - modelo designado para a maioria dos militares no país, o coturno especial de lona preta (CE) - distribuído para os militares que vão para missões de paz no exterior, e o coturno marrom (CM) - utilizado pela tropa paraquedista. A *Figura 9* apresenta fotografias dos modelos de coturnos, bem como de seus solados. A *Figura 10* mostra uma representação esquemática do solado previsto para os coturnos, de acordo com as Instruções Normativas nº 016 / 2010, da Diretoria de Abastecimento do Exército Brasileiro.



Figura 9. Coturnos avaliados – CC (a), CE (b), CM (c)

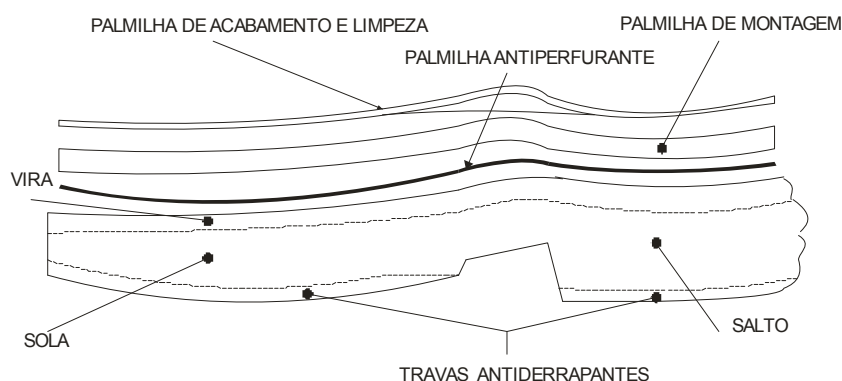


Figura 10. Representação esquemática do solado (Instr Norm/DAbst EB)

Os calçados utilizados foram cedidos pelo 1º Depósito de Suprimento do Exército, de um lote de coturnos novos que seriam distribuídos aos quartéis do Brasil. A *Tabela 1* mostra os valores encontrados ao se medir a massa dos pares de coturnos, nos diferentes modelos e numerações, sendo tal medida realizada utilizando uma balança com precisão de 0,05 kg (Filizola, Brasil). Constam ainda na *Tabela 1* os dados sobre a espessura do solado e da altura das travas antiderrapantes, mensurados com um paquímetro com precisão de 0,05 mm (Mitutoyo, Japão), e o material de confecção dos solados, de acordo com as informações repassadas pelos fabricantes.

Tabela 1. Dados técnicos sobre materiais e dimensões dos diferentes modelos de coturnos

Modelo de coturno	Palmilha		Solado			Massa (kg)		
	Material	Espessura	Material	Espessura	Altura da trava	Numeração		
						40	41	42
Coturno comum (CC)	EVA	3 mm	SBR e NR*	22 mm	3 mm	1,40	1,40	1,40
Coturno especial (CE)	EVA	3 mm	SBR e NR*	17 mm	6 mm	1,20	1,20	1,25
Coturno marrom (CM)	EVA	3 mm	SBR e NR*	18 mm	5 mm	1,30	1,30	1,40

SBR e NR * - Composição não definida de borracha sintética e natural

Para identificar o instante em que o calcanhar encosta no solo, o que caracteriza o ciclo de marcha, foram colocados no coturno do pé direito dois marcadores reflexivos de 12 mm, fixados por fita adesiva dupla face, na parte posterior do calçado, sobre o salto de borracha, e na parte anterior, sobre a região da cabeça do segundo metatarso. Estes pontos tiveram suas coordenadas registradas por um equipamento de análise cinemática durante o período de 1 min

no qual os militares caminharam na esteira ergométrica¹⁷, e os valores foram processados posteriormente em conjunto com os dados da acelerometria.

Para evitar que alguma tendência originada pela sequência de avaliação dos coturnos influenciasse no resultado, os mesmos foram testados em ordem aleatória. Ressalta-se ainda que a situação “descalço” foi avaliada fixando os marcadores sobre a pele dos indivíduos, no pé direito. O objetivo do teste sem calçado foi utilizar o próprio indivíduo como controle.

3.3. EQUIPAMENTOS

Para obtenção de dados de acelerometria, referentes aos picos de impacto na tuberosidade da tíbia, foi utilizado um acelerômetro capacitivo triaxial, modelo MMA7361 (*Sparkfun*, EUA), com faixa de medição de ± 6 gravidades, massa de 5g. Foi realizada a calibração para cada um dos três eixos do acelerômetro com a utilização de um nível de madeira Ramada de 12 polegadas. A calibração do eixo vertical (y) do acelerômetro ocorreu colocando o plano formado pelos eixos x e z na posição perpendicular ao eixo de ação da gravidade, primeiro no sentido positivo da indicação do eixo y. Foi registrado durante 30 segundos o valor em volts mensurado devido à ação da gravidade, em seguida calculado o valor médio. Esse procedimento foi repetido, invertendo o alinhamento do eixo y em 180°. Os dois valores médios foram utilizados para fazer uma equação de regressão. Os parâmetros encontrados foram empregados posteriormente na conversão dos dados de acelerometria de *volts* para *gravidades* através de rotinas desenvolvidas no programa *Matlab*®, considerando o comportamento linear para a temperatura de 25°C.

Para montagem do acelerômetro na tuberosidade tibial (*Figura 11*), foi utilizada uma fita dupla face entre a pele e o acelerômetro, uma bandagem elástica com velcro apertada em torno da perna, até o limiar de conforto dos indivíduos, de acordo com os estudos de Mizrahi *et al.* (2000), Kavanagh & Menz (2008) e Levinger *et al.* (2008). O acelerômetro foi posicionado de forma que seu eixo vertical de medição ficasse visualmente alinhado ao eixo longitudinal da tíbia do

¹⁷ Esteira ergométrica modelo RT 150 (Movement, São Paulo), com 150 cm de comprimento por 50 cm de largura.

sujeito, e os cabos foram presos à perna por outra bandagem elástica com velcro, para impedir que suas oscilações durante o teste pudessem ser captadas e confundidas com ondas de choque, conforme proposto por Hwang (2006).



Figura 11. Acelerômetro fixado sobre a tuberosidade da tíbia

Apesar da técnica de acelerometria ser utilizada de forma ostensiva para medição de variáveis cinemáticas, o equipamento em questão e suas conexões foram montados *exclusivamente* para esta dissertação. Este sensor (*Figura 12*) foi instrumentado com uma entrada USB para alimentação e três saídas de conector BNC para envio dos dados para o dispositivo analógico de aquisição da cinemetria.

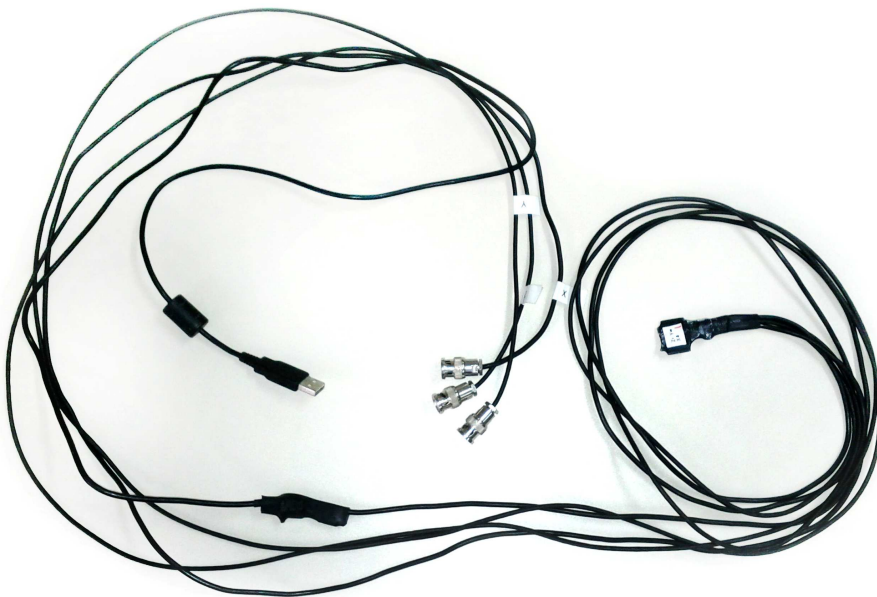


Figura 12. Acelerômetro MMA7361 Sparkfun – instrumentado

Tendo em vista verificar a confiabilidade dos resultados, foram executados testes com os indivíduos em dois dias não consecutivos, em sequência aleatória de calçados. Os resultados das duas coletas foram submetidos a procedimentos que serão detalhados na próxima seção.

Para que o indivíduo pudesse ser avaliado durante 1 min de caminhada a uma velocidade constante de 5 km/h, e que os dispositivos de medição dos parâmetros de cinemática pudessem ser montados em torno do mesmo, foi utilizada uma esteira ergométrica modelo RT 150 (Movement, São Paulo). A adaptação à marcha na esteira para as situações de teste com os coturnos novos foi padronizada. Os indivíduos fizeram um total de 20 minutos de adaptação no primeiro dia de coleta, cujos detalhes serão relatados na Seção 3.4.

Foi utilizado um sistema ótico de captura e análise cinemática em três dimensões, o *Qualisys* (Suécia), composto por três câmeras infravermelhas *Oqus 300 plus* de alta velocidade, o programa *Qualisys Track Manager v.2.6* para gravação dos dados, e uma placa de conversão analógico-digital (A/D) *Qualisys* de 64 canais de entrada com um dispositivo sincronizador (Figura 13). As informações de cinemetria e de acelerometria foram adquiridas e gravadas com uma frequência de amostragem de 200 Hz, coletadas de forma sincronizada no mesmo dispositivo A/D. Todos os sinais foram registrados em um Notebook Latitude E6510 (Dell, EUA).



Figura 13. Equipamento de análise cinemática 3D

As informações de posição espacial dos marcadores fixados no pé direito dos indivíduos tinham por finalidade identificar o instante em que ocorria o contato inicial do calcanhar direito com a esteira ergométrica, para facilitar a análise do sinal gerado pelo acelerômetro. Em colaboração com a equipe de estudos biomecânicos do IPCFEx e da EsEFEx, foi elaborado um algoritmo para ser utilizado nesta dissertação, seguindo os conceitos apresentados por O'Connor *et al.* (2007), para, por intermédio da velocidade vertical dos pontos estudados, tentar obter o instante em que o calcanhar toca o solo.

Os pontos de acelerometria considerados para formar o valor da média dos picos de impacto dos coturnos foram calculados por um algoritmo adaptado de *peakdet* (ANEXO A), Billauer (2011), utilizando o programa *Matlab*®. Os sinais foram processados em um Notebook Vostro 3450 (Dell, EUA).

3.4. PROTOCOLO EXPERIMENTAL

Através da análise ergonômica das atividades militares, mais especificamente sobre os calçados utilizados, o presente estudo foi focado na parte experimental observável (sensório-motora). Apesar de ter existido relatos informais por parte dos voluntários para os experimentos sobre a questão não observável (psicológica/mental), caracterizada pela percepção a respeito do conforto e do desempenho ao utilizar os diferentes calçados avaliados, só foram considerados os dados quantitativos coletados.

Os voluntários foram informados sobre os procedimentos dos testes, passaram por uma entrevista e responderam a um questionário. Os que satisfizeram as condições e concordaram em fazer parte da pesquisa, assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (*Apêndice B*). Três coturnos novos para cada sujeito foram identificados com uma etiqueta numerada e distribuídos.

Previamente, para aquecimento e adaptação à condição do teste, os sujeitos caminharam descalços na esteira e com cada um dos coturnos, em velocidade de 5 km/h durante 5 min. Para realização dos testes um acelerômetro foi preso sobre a tuberosidade da tíbia com fita dupla face e uma bandagem elástica com velcro, garantindo a fixação (*Figura 11*), como referido nos estudos prévios (Mizrahi *et al.*, 2000; Kavanagh & Menz, 2008; e Levinger *et al.*, 2008). Os cabos do

acelerômetro foram presos na perna por outra bandagem elástica com velcro, para evitar que durante o movimento gerassem ruído no sinal coletado. Na parte posterior do coturno e na parte anterior sobre a região do cabeça do segundo metatarso (*Figura 14-a*) foram fixados com fita adesiva dupla face os marcadores reflexivos. Na situação sem calçado (situação controle), os marcadores foram colados com a mesma fita adesiva dupla face parte posterior do pé (na inserção do tendão calcâneo na região posterior do osso calcâneo), e na parte anterior do pé, sobre a pele, na região do cabeça do segundo metatarso (*Figura 14-b*).



Figura 14. Localização dos marcadores passivos da cinemetria

Após a etapa de adaptação e fixação dos instrumentos, foi realizado o teste em ordem aleatória dentre as quatro situações a seguir: teste descalço; teste calçado com o coturno comum (*Figura 9-a*), com coturno especial (*Figura 9-b*), e coturno marrom (*Figura 9-c*). Nas quatro situações os sujeitos caminharam na esteira na velocidade de 5 km/h por 2 min, durante os quais os dados de acelerometria e cinemetria foram coletados por 1 min, a uma frequência de 200 Hz. Para evitar as variações no padrão de caminhada que podem ocorrer no início do movimento e próximo à parada da esteira, foram desprezados os 30s iniciais e finais da caminhada de 2 min.

No segundo dia todo o procedimento foi repetido, porém os sujeitos realizaram somente a coleta de dados nas 4 situações em ordem aleatória, ficando dispensados da etapa de adaptação ao teste e aos calçados. Durante os testes, os sujeitos não relataram desconforto com o uso do acelerômetro nem fadiga.

3.5. ANÁLISE E PROCESSAMENTO DOS SINAIS

Os sinais de cinemetria e de aceleração tibial foram processados através de rotinas desenvolvidas com o aplicativo Matlab 7.10 (The Mathworks, EUA). Considerando que ambos os sinais não possuíam energia significativa acima de 30Hz, foi adotada a frequência de 200Hz para a coleta dos dados, visando obedecer o Teorema de Nyquist.

No domínio do tempo, com os dados de cinemetria, foram obtidos o número de passadas que os indivíduos executaram em 60 s de teste, bem como os instantes nos quais ocorria o CI, através do algoritmo proposto por O'Connor *et al.* (2007). Foi utilizado o filtro *Butterworth* passa-baixas de 4ª ordem, aplicado nos sentidos direto e reverso para correção de fase, com frequência de corte de 7 Hz. O sinal de cinemetria, analisado no domínio da frequência, foi comparado através da função PSD ao sinal de acelerometria, para verificar se as duas formas de mensurar as variáveis cinemáticas apresentavam o ponto de máxima energia no mesmo valor de frequência.

Os sinais de acelerometria, analisados no domínio do tempo proporcionaram a média dos picos de aceleração na tuberosidade tibial no eixo vertical para cada uma das situações de calçados. A média foi calculada utilizando um terço dos maiores picos de impacto de cada coleta (*Figura 15*). O algoritmo para localização dos picos de impacto foi utilizado conforme proposto em *peakdet* por Billauer (2011). O conceito do mesmo é encontrar os máximos e mínimos locais em sinais com ruído, o que normalmente acontece com sinais biológicos.

No domínio da frequência, o sinal de acelerometria foi submetido a uma FFT para verificar até que valores de frequência o sinal apresentava energia considerável. Para efeito da análise dos dados de frequência fornecidos pela função PSD, foram calculadas as áreas sob o espectro de potências de aceleração dividindo o mesmo (0 - 20 Hz) em quatro bandas de frequência, com intervalos de 5 Hz, e também o valor da soma da energia total destes intervalos. As variáveis definidas pela energia dos sinais nessas bandas de frequência e a soma delas serão exploradas na Seção 4.2.

A análise do experimento foi realizada no programa *Design Expert 6.0.6* (Stat-Ease, EUA). Adotado o método *Superfície de Resposta, Dados Históricos*, foram lançados os valores de massa dos indivíduos e dos calçados utilizados como

variáveis categóricas, e a média do pico de acelerometria como variável numérica, dentro da ordem de execução dos testes. O objetivo foi ajustar um modelo de regressão para predição do valor de pico, de acordo com a massa do sujeito, bem como do coturno utilizado. Foi aplicado o modelo de interpolação polinomial cúbica. Através do módulo de otimização da resposta, o programa é capaz de buscar o ótimo diante de uma combinação de inúmeras configurações, tal como, especificada massa, é capaz de apontar o calçado que obtém o menor impacto no joelho.

Para verificar a confiabilidade das mensurações feitas com o equipamento de acelerometria montado para esta pesquisa, foi calculado por intermédio do programa *Statistica 7.0* (Statsoft, EUA), o Coeficiente de Correlação Intraclasse (CCI). Este coeficiente foi calculado tanto para os valores de média de pico de aceleração (análise do sinal no domínio do tempo), quanto para a energia das bandas de frequências e energia total (análise da acelerometria no domínio da frequência), comparando assim os valores da primeira e da segunda coleta. Para classificar a confiabilidade das avaliações entre os dois momentos, foram utilizados o CCI e intervalo de confiança (IC) de 95% de acordo com Hopkins (2000), e Fleiss (1999), citado por Michaelsen *et al.* (2011). Foi adotada a classificação para os valores de CCI, nos seguintes termos: concordância fraca $CCI < 0,40$; concordância moderada $0,4 < CCI \leq 0,75$; e concordância excelente $CCI > 0,75$.

As variáveis da segunda coleta foram analisadas estatisticamente por meio da análise de variância (ANOVA *One Way*), que permitiu comparar as médias de pico de acelerometria nas quatro situações (descalço, e com três coturnos diferentes), as energias de cada faixa de frequência e energia total do sinal, também nas quatro situações. Quando o resultado apresentou diferença significativa, foi realizado o teste *Post Hoc de Bonferroni*. Todas as diferenças entre as médias foram testadas com o aplicativo, sendo adotado um nível de confiança de $\alpha = 0,05$. Foi utilizado ainda o programa *GraphPad Prism v.5* (GraphPad Software, EUA) para representar as análises das variáveis por meio de gráficos *Box-Plot*.

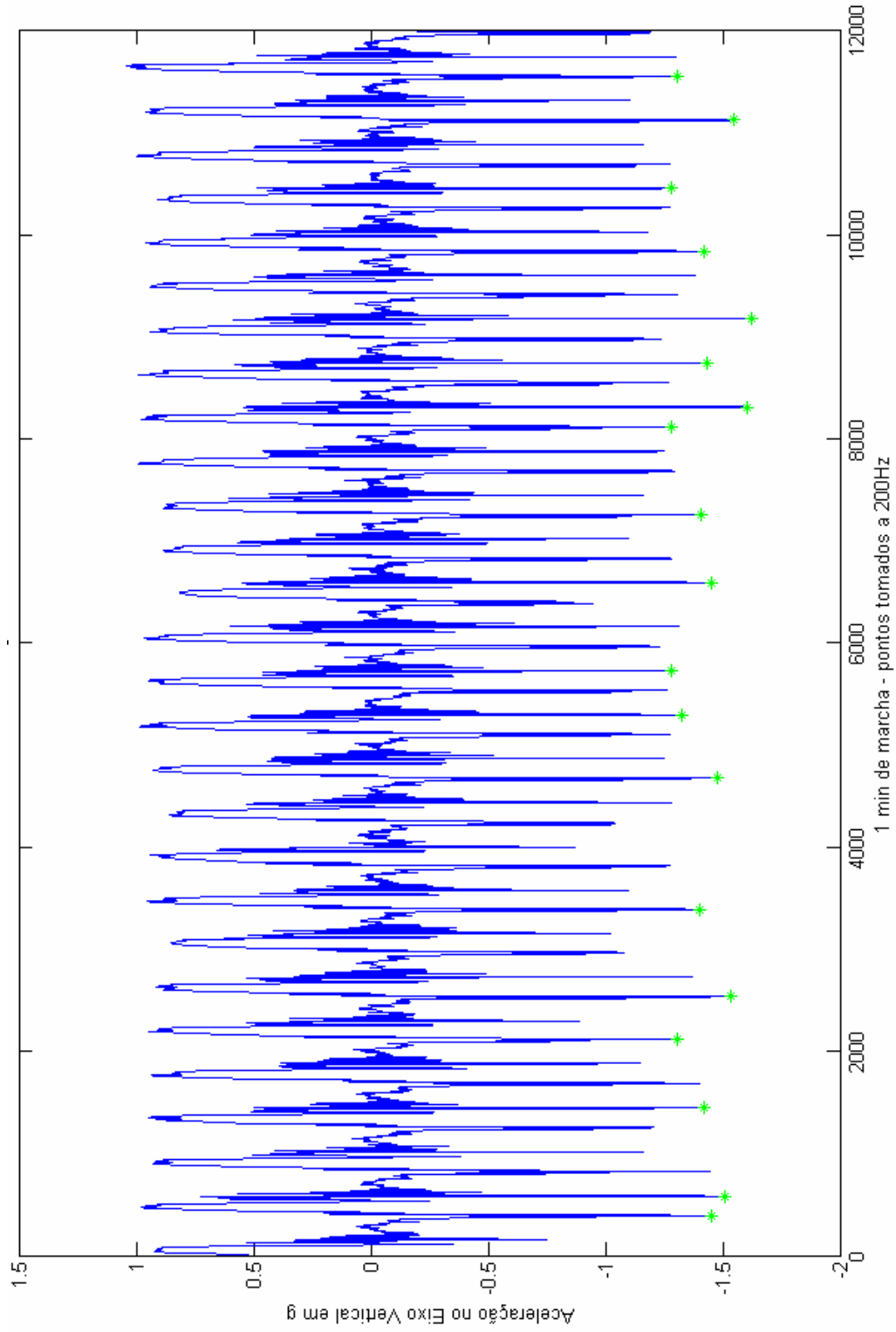


Figura 15. Picos de acelerometria considerados para cálculo da média