



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO MOVIMENTO HUMANO  
LINHA DE PESQUISA EM ESPORTE, ATIVIDADE FÍSICA E SAÚDE**

**ALINE DA SILVA OLIVEIRA**

**ACCELEROMETRIA TRIAXIAL EM SALTOS LATERAIS PARA IDENTIFICAÇÃO  
DE PADRÕES MOTORES SUTIS EM ADULTOS COM E SEM SÍNDROME DE  
DOWN**

**BELÉM  
2025**

ALINE DA SILVA OLIVEIRA

**ACCELEROMETRIA TRIAXIAL EM SALTOS LATERAIS PARA IDENTIFICAÇÃO  
DE PADRÕES MOTORES SUTIS EM ADULTOS COM E SEM SÍNDROME DE  
DOWN**

Dissertação de mestrado apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano - PPGCMH, do Instituto de Ciências da Saúde - ICS, da Universidade Federal do Pará - UFPA, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências do Movimento Humano.

Linha de pesquisa: Esporte, Atividade Física e Saúde.

Área de concentração: Biodinâmica do movimento humano.

Orientador: Prof. Dr. Anselmo de Athayde Costa e Silva

Coorientador: Prof. Dr. Alex Harley Crisp

BELÉM  
2025

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD  
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará  
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a)  
autor(a)**

---

O48a Oliveira, Aline da Silva.  
Acelerometria Triaxial em Saltos Laterais para  
Identificação de Padrões Motores Sutis em Adultos com e  
sem Síndrome de Down / Aline da Silva Oliveira. — 2025.  
xii, 67 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Anselmo de Athayde Costa E  
Silva

Coorientador(a): Prof. Dr. Alex Harley Crisp  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,  
Instituto de Ciências da Saúde, Programa de Pós-Graduação  
em Ciências do Movimento Humano, Belém, 2025.

1. Coordenação Motora. 2. Síndrome de Down. 3.  
Sensores Vestíveis. 4. Acelerometria. 5. Saltos Laterais.  
I. Título.

CDD 612.76

---

ALINE DA SILVA OLIVEIRA

**ACCELEROMETRIA TRIAXIAL EM SALTOS LATERAIS PARA IDENTIFICAÇÃO  
DE PADRÕES MOTORES SUTIS EM ADULTOS COM E SEM SÍNDROME DE  
DOWN**

Dissertação de mestrado apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano - PPGCMH, do Instituto de Ciências da Saúde - ICS, da Universidade Federal do Pará - UFPA, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências do Movimento Humano.

Linha de pesquisa: Esporte, Atividade Física e Saúde.

Área de concentração: Biodinâmica do movimento humano.

Orientador: Prof. Dr. Anselmo de Athayde Costa e Silva

Coorientador: Prof. Dr. Alex Harley Crisp

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Dr. Anselmo de Athayde Costa e Silva  
Orientador - PPGCMH/UFPA

Profa. Dra. Bianca Callegari  
Membro Interno - PPGCMH/UFPA

Prof. Dr. Givago da Silva Souza  
Membro Externo – PPGDT/UFPA

BELÉM  
2025

À minha mãe, minha primeira professora,  
cujo mantra sempre ecoou: 'Tenha  
coragem e seja gentil' — e cujo amor é, e  
sempre será, a luz que guia meus passos.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, *antes de tudo*, à minha família por todo o incentivo e apoio aos meus estudos.

Ao meu pai Antonio (*in memoriam*) — nosso Alemão — por me ensinar sobre a importância do caminho e da determinação.

À minha mãe Rosilda — minha Rosa — e ao meu irmão Alisson — meu maninho —, em especial, por serem meu alicerce em todos os momentos.

Obrigada por acreditarem em mim, por compreenderem minhas ausências e, principalmente, por acolherem meus sonhos com tanto amor.

Às minhas filhas de coração, Alanny e Madu. Vocês são meu farol, minhas maiores motivações e a razão pela qual sigo buscando caminhos melhores.

À Maria, minha parceira de todas as horas, por me ensinar a ter esperança mesmo nos dias difíceis. Obrigada por ficar acordada até tarde comigo, dividindo o silêncio, o cansaço e o afeto nos dias mais longos. Essa conquista também é sua.

À família RaNas, obrigada por me acolherem com carinho e generosidade, tornando o caminho mais leve e alegre.

Agradeço à Universidade Federal do Pará, ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano e à APAE, especialmente à Louise, por oferecerem o espaço de formação que tornou este trabalho possível.

Ao meu orientador, Anselmo, pela confiança, pela escuta e por cada direcionamento que me permitiu crescer como pesquisadora.

Ao meu coorientador, Alex, um verdadeiro presente nessa caminhada. Obrigada pelas provocações intelectuais que tanto me ensinaram.

Às professoras Cláudia e Laura, minha inspiração constante, toda minha admiração e respeito.

Aos voluntários que participaram desta pesquisa, especialmente às pessoas com Síndrome de Down e suas famílias.

Às minhas queridas amigas Nivea, Alzilene e Jéssica, pela parceria indispensável na condução do projeto APTIDOWN, que nos proporcionou muitos desafios e valiosos aprendizados.

Aos ICs Sarah e Diéfano, pela ajuda e dedicação durante este trabalho. Desejo a vocês um futuro brilhante.

Ao Laboratório de Atividade Física Adaptada - LAFA, este laboratório que foi minha segunda casa, em especial, aos amigos Carlos, Pê, Thatiane e Eunice,

obrigada por cada pausa para o café, pelas risadas compartilhadas e por cada palavra de incentivo. Sem vocês, nada dessa jornada teria a mesma cor e significado.

À Elice e à Thatiane, pelas tardes de quinta-feira que nos uniram e nos fortaleceram. Obrigada por existirem na minha trajetória.

Por fim, agradeço à Liniker, cuja música tantas vezes traduziu o que eu não soube dizer. Ela me acompanhou nesta travessia com versos que, antes de tudo, foram consolo e que, agora, ao final desta caminhada, se tornam celebração.

*Porque amor, pra mim, é tudo.*

## RESUMO

**Introdução:** A síndrome de Down (SD) está associada a alterações neuromotoras que afetam habilidades como o salto, que exige força, equilíbrio e coordenação. A tarefa de saltos laterais do Körperkoordinationstest für Kinder (KTK) considera esses componentes, mas ainda é pouco investigada em adultos com SD. Sensores inerciais, como acelerômetros, surgem como alternativa promissora para quantificar padrões motores sutis não detectados por avaliações observacionais. **Objetivo:** Comparar os padrões motores de saltos laterais entre adultos com e sem SD por meio da análise de sinais triaxiais de aceleração. **Métodos:** Participaram 42 adultos divididos em dois grupos (21 com SD; 21 sem-SD) pareados por idade e sexo. Cada participante realizou a tarefa de saltos laterais do KTK por 15 segundos enquanto a aceleração linear mediolateral, anteroposterior e vertical era registrada por um sensor inercial posicionado na região lombar. As 39 métricas extraídas foram analisadas por uma abordagem multivariada envolvendo Random Forest, Análise de Componentes Principais (PCA) e Análise de Agrupamento Hierárquico. **Resultados:** Adultos com SD apresentaram desempenho significativamente inferior ( $10,1 \pm 3,1$  vs.  $34,0 \pm 4,3$  saltos;  $p < 0,001$ ; Hedges'  $g = 6,30$ ). O Random Forest identificou métricas de variabilidade e estabilidade da aceleração como as de maior importância preditiva. A PCA explicou 85,03% da variância total nos dois primeiros componentes e mostrou separação clara entre os grupos, além de maior heterogeneidade intragrupo entre adultos com SD. **Conclusão:** Este estudo constata que adultos com SD exibem padrões motores específicos ao realizar saltos laterais, caracterizados por maiores oscilações nas acelerações mediolateral e anteroposterior e por menor estabilidade vertical. A abordagem multivariada baseada em acelerometria demonstra capacidade de classificar grupos e revelar sutilezas de desempenho motor não detectadas por avaliações observacionais.

**Palavras-chave:** Coordenação Motora; Síndrome de Down; Sensores Vestíveis, Acelerometria, Saltos Laterais.

## ABSTRACT

**Background:** Down syndrome (DS) is associated with neuromotor alterations that affect skills such as jumping, which requires strength, balance, and coordination. The lateral jump task of the Körperkoordinationstest für Kinder (KTK) considers these components, but it is still under-researched in adults with DS. Inertial sensors, such as accelerometers, emerge as a promising alternative to quantify subtle motor patterns not detected by observational assessments. **Objective:** To compare lateral jump motor patterns between adults with and without Down syndrome through the analysis of triaxial acceleration signals. **Methods:** Forty-two adults participated, divided into two groups (21 with DS and 21 without DS), matched for age and sex. Each participant completed the 15-second KTK lateral jump task. An inertial sensor placed on the lumbar region recorded the mediolateral, anteroposterior, and vertical components of linear acceleration during the task. Multivariate analysis using Random Forest, Principal Component Analysis (PCA), and Hierarchical Cluster Analysis were employed to examine the thirty-nine extracted metrics. **Results:** Adults with DS showed significantly lower performance ( $10.1 \pm 3.1$  vs.  $34.0 \pm 4.3$  jumps;  $p < 0.001$ ; Hedges'  $g = 6.30$ ). Random Forest identified metrics of variability and stability of acceleration as having the greatest predictive importance. PCA explained 85.03% of the total variance in the first two components and showed a clear separation between the groups, as well as greater intragroup heterogeneity among adults with DS. **Conclusion:** This study finds that adults with Down syndrome exhibit specific motor patterns when performing lateral jumps, characterized by greater oscillations in mediolateral and anteroposterior accelerations and by lower vertical stability. The multivariate approach based on accelerometry demonstrates the ability to classify groups and reveal subtleties of motor performance not detected by observational assessments.

**Keywords:** Motor Coordination; Down Syndrome; Wearable Sensors, Accelerometry, Lateral Jumps.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO .....	17
2.1	<i>Síndrome de Down</i> .....	17
2.1.1	<i>Sintomas e manifestações clínicas</i> .....	20
2.1.2	<i>Implicações na atividade física e na coordenação motora</i> .....	22
2.2	<i>Coordenação motora</i> .....	24
2.2.1	<i>Avaliação da coordenação motora</i> .....	27
2.3	<i>Saltos</i> .....	30
2.4	<i>Sensores inerciais</i> .....	31
2.4.1	<i>Uso de sensores inercias para avaliação do movimento humano</i> .....	31
3	OBJETIVOS .....	34
4	MÉTODOS .....	35
4.1	<i>Delineamento do estudo</i> .....	35
4.2	<i>Aspectos Éticos</i> .....	35
4.3	<i>Participantes</i> .....	36
4.3.1	<i>CrITÉRIOS de elegibilidade</i> .....	36
4.3.2	<i>Recrutamento e amostragem</i> .....	36
4.4	<i>Procedimentos</i> .....	36
4.4.1	<i>Anamnese</i> .....	36
4.4.2	<i>Liberação Médica</i> .....	37
4.4.3	<i>Antropometria</i> .....	37
4.4.4	<i>Avaliação dos saltos laterais</i> .....	37
4.4.4.1.	<i>Adaptação da tarefa de saltos laterais do KTK</i> .....	37
4.4.4.2.	<i>Instrumentalização do teste com o acelerômetro</i> .....	39
4.5	<i>Processamento de sinal</i> .....	40
4.5.1	<i>Recorte do sinal</i> .....	41
4.5.2	<i>Extração de métricas</i> .....	41
4.6	<i>Análise estatística</i> .....	43
5	RESULTADOS .....	45
5.1	<i>Características antropométricas e desempenho motor</i> .....	45
5.2	<i>Análise por Random Forest</i> .....	48
5.3	<i>Tamanhos de efeito das métricas discriminantes entre os grupos</i> .....	49
5.4	<i>Análise Multivariada: PCA e HCPC</i> .....	51

6	DISCUSSÃO .....	56
6.1	<i>Padrões motores na SD: características triaxiais</i> .....	56
6.2	<i>Variabilidade motora intragrupo na SD</i> .....	58
7	FORÇAS E LIMITAÇÕES .....	61
8	CONCLUSÃO .....	62
	REFERÊNCIAS .....	63

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Procedimentos do estudo .....	35
Figura 2 – Dimensões da plataforma para saltos laterais .....	38
Figura 3 – Voluntário sobre plataforma de salto .....	39
Figura 4 – Ilustração do sensor, orientação dos eixos, posicionamento e visualização do sinal durante o teste de saltos laterais .....	40
Figura 5 – Sinais de aceleração triaxial dos voluntários com maior número de saltos laterais do grupo SD (à esquerda) e sem-SD (à direita) .....	46
Figura 6 – Sinais de aceleração triaxial dos voluntários com menor número de saltos laterais do grupo SD (à esquerda) e sem-SD (à direita) .....	47
Figura 7 – Seleção de métricas ranqueadas por importância (MGD >1) .....	48
Figura 8 – Tamanho de efeito g de Hedges das métricas preditoras de grupo .....	50
Figura 9 – PCA e contribuição total das métricas .....	52
Figura 10 – PCA dos indivíduos com elipses de confiança 95% .....	53
Figura 11 – Representação dos agrupamentos obtidos pela Análise Hierárquica de Componentes Principais (HCPC). .....	54

## 1 INTRODUÇÃO

A Síndrome de Down (SD) é a anomalia cromossômica mais comum relacionada à deficiência intelectual em seres humanos, resultante da presença total ou parcial de uma terceira cópia do cromossomo 21. Estima-se que essa condição ocorra em aproximadamente 1 a cada 800 nascimentos no mundo (Bull, 2020). As manifestações clínicas da SD afetam múltiplos sistemas do organismo, incluindo os sistemas musculoesquelético, neurológico e cardiovascular, com importantes repercussões sobre o desenvolvimento motor e funcional dos indivíduos acometidos (Antonarakis *et al.*, 2020).

Entre as principais características morfofuncionais observadas em pessoas com SD destacam-se a baixa estatura, a presença de dedos curtos, hipotonia muscular, instabilidade atlantoaxial, densidade neuronal reduzida, hipoplasia cerebelar, deficiência intelectual e cardiopatias congênitas (Antonarakis *et al.*, 2020). Além disso, alterações na estrutura cerebral, como a redução do tamanho do corpo caloso, do cerebelo, do giro temporal superior e do tronco encefálico, podem comprometer negativamente as habilidades motoras grossas tanto em crianças quanto em adultos com SD (Alesi *et al.*, 2022). A combinação entre distúrbios de tônus muscular e déficits de coordenação torna essa população mais suscetível a quedas e a dificuldades de equilíbrio (Dupre; Weidman-Evans, 2017).

É importante ressaltar que, embora os indivíduos com SD compartilhem características fenotípicas semelhantes, a expressão dessas manifestações varia consideravelmente entre os sujeitos, refletindo a complexidade genética envolvida (Agarwal Gupta; Kabra, 2014). Fatores ambientais e contextuais também exercem influência significativa sobre o desenvolvimento motor, especialmente quando há limitações de oportunidades para exploração motora e interação com o ambiente. A ausência de estímulos adequados pode levar à privação motora, impactando negativamente a aquisição de habilidades (Gorla; Araujo; Rodrigues, 2014).

Paralelamente, complicações de ordem musculoesquelética e cardiovascular frequentemente presentes na SD (Shields *et al.*, 2017) podem funcionar como barreiras à prática de atividades físicas, afetando tanto as capacidades físicas quanto comportamentais desses indivíduos (Alesi *et al.*, 2022). Não surpreende, portanto, que pessoas com SD apresentem menores níveis de atividade física em comparação com a população sem a síndrome (Shields *et al.*, 2018) o que contribui para o aumento das

taxas de sobrepeso e obesidade observadas em crianças e adultos com SD, em relação àqueles com outros transtornos do desenvolvimento (Ptomey *et al.*, 2020).

Nesse contexto, destaca-se a relevância da coordenação motora, entendida como a capacidade de executar movimentos articulados com controle espaço-temporal adequado. Evidências sugerem uma associação direta entre baixos níveis de atividade física e menor competência motora nessa população, o que pode ser atribuído, em parte, à escassa exposição a programas estruturados de atividade física (Quinzi *et al.*, 2022b). A proficiência em habilidades motoras fundamentais, como correr, rolar e saltar, mostra-se essencial para favorecer a participação em atividades físicas e esportivas, além de promover inclusão social (Quinzi *et al.*, 2022a).

Dentre essas habilidades, o salto assume papel de destaque como importante marcador do desenvolvimento motor. Essa ação envolve rápida aplicação de força, coordenação e controle neuromuscular refinado, sendo amplamente utilizada como modelo para a investigação da locomoção humana (Auyang; Chang, 2013). Na literatura, os saltos são geralmente classificados em três modalidades: vertical, horizontal e de queda (drop jump), cada uma delas exigindo padrões distintos de força, potência e controle motor (Kirkland; Wadden; Ploughman, 2022).

O salto lateral, por sua vez, destaca-se por integrar, em uma única tarefa, demandas de força, equilíbrio e coordenação. Na bateria para avaliação da coordenação corporal *Körperkoordinationstest für Kinder* (KTK), essa tarefa consiste em executar o maior número possível de saltos consecutivos sobre uma plataforma, em um intervalo de 15 segundos, com ambos os pés deixando o solo de forma sincronizada e se deslocando lateralmente entre a decolagem e o pouso (Gorla; Araujo; Rodrigues, 2014). Essa tarefa requer sincronização inter-hemisférica e coordenação bilateral, sendo considerada desafiadora para o sistema neuromuscular (Kirkland; Wadden; Ploughman, 2022).

Estudos prévios têm demonstrado que crianças com SD apresentam desempenho motor inferior ao de seus pares típicos em tarefas como ficar em pé, andar, correr e saltar (Brugnaro *et al.*, 2024), além de dificuldades em coordenar movimentos bimanual e intersegmentares, como os exigidos no salto com balanço de braços (Alesi *et al.*, 2018). Todavia, a maior parte dessas investigações está concentrada na infância, negligenciando a fase adulta, para a qual existem ainda menos dados sobre o desempenho motor e sua avaliação sistemática.

Com frequência, a avaliação da coordenação motora é realizada com base em instrumentos qualitativos de observação. No entanto, essa abordagem apresenta limitações, como a dificuldade de captar mudanças sutis no desempenho ou na qualidade do movimento ao longo do tempo. Nesse cenário, os sensores inerciais têm emergido como uma alternativa promissora, oferecendo dados objetivos e de boa acurácia sobre a execução de tarefas motoras. Esses dispositivos possibilitam a identificação de padrões biomecânicos e neuromusculares associados a disfunções motoras e são úteis tanto para avaliação quanto para monitoramento da progressão e dos efeitos de intervenções (Lopez-Nava; Munoz-Melendez, 2016).

Estudos recentes vêm combinando métodos qualitativos e quantitativos para uma compreensão mais aprofundada do comportamento motor. Parâmetros temporais extraídos de sinais acelerométricos têm demonstrado sensibilidade para detectar diferentes níveis de desenvolvimento motor, inclusive em crianças típicas (Masci *et al.*, 2012). Essa abordagem integrada também foi aplicada com sucesso na avaliação da competência motora de adultos com SD durante a tarefa de salto do *Test of Gross Motor Development* (TGMD), revelando-se uma alternativa promissora para investigar aspectos relacionados à locomoção nessa população (Quinzi *et al.*, 2021).

Esses elementos tornam-se especialmente adequados para identificar deficiências sutis no controle motor e padrões compensatórios em pessoas com SD, tanto em parâmetros de estabilidade quanto de variabilidade. Apesar desses avanços, ainda não há registros de estudos que utilizem sensores inerciais na análise da tarefa de saltos laterais da bateria KTK em adultos com SD. Ademais, o conhecimento sobre os padrões motores dessa população na fase adulta permanece escasso, especialmente no que diz respeito à caracterização do desempenho motor e à definição de parâmetros objetivos que possibilitem sua análise.

Diante desse cenário, o presente estudo teve como objetivo comparar os padrões motores durante a execução de saltos laterais entre adultos com e sem SD, a partir de métricas extraídas de sinais triaxiais de aceleração no domínio do tempo. Para isso, foram empregadas análises multivariadas — incluindo Random Forest, Análise de Componentes Principais (PCA) e Agrupamento Hierárquico sobre Componentes Principais (HCPC) — visando identificar métricas discriminativas e padrões de agrupamentos coordenativos distintos entre os grupos.

Ao propor uma abordagem instrumental sensível à métricas de qualidade da execução motora do teste, nossa hipótese é que a instrumentação do teste com

acelerometria pode permitir a identificação de variáveis temporais e padrões de execução que expliquem diferenças na competência motora entre os grupos, contribuindo para o entendimento dos mecanismos de ajuste e controle motor envolvidos nessa habilidade.

Considerando as implicações da hipotonia, das alterações cerebelares e dos baixos níveis de atividade física frequentemente observados em adultos com SD, o presente estudo busca preencher uma lacuna na literatura ao oferecer uma análise detalhada e objetiva do desempenho de saltos nessa população. A proposta de utilizar acelerômetros em tarefas como os saltos laterais visa promover avanços na compreensão e no acompanhamento do desenvolvimento motor de adultos com SD.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Síndrome de Down

A Síndrome de Down é a mais comum das anomalias cromossômicas em seres humanos, surgindo da presença total ou parcial de uma terceira cópia do cromossomo 21 (Cabeza-Ruiz *et al.*, 2019), o que resulta em um total de 47 cromossomos, em contraste com o padrão fisiológico de 46 (Duarte; Costa; Gorla, 2017).

Embora a descrição dos aspectos clínicos da SD remonte a 1866, quando o médico inglês John Langdon Down apresentou seus estudos, a identificação da causa cromossômica ocorreu somente depois de mais de 90 anos (Bull, 2020) na França por Jerome Lejeune (Holmes, 2014). Essa descoberta foi um avanço significativo na genética médica, proporcionando uma melhor compreensão da condição.

Os trabalhos de Lejeune impulsionaram pesquisas globais sobre diagnóstico, tratamento e aconselhamento genético para famílias afetadas, promovendo avanços no entendimento da SD. Como consequência, novas estratégias médicas e intervenções foram desenvolvidas, para melhorar a qualidade de vida e o acesso a cuidados especializados. Esse progresso impactou diretamente a longevidade das pessoas com SD, cuja expectativa de vida aumentou de 25 anos em 1983 para 60 anos em 2020 (Tsou *et al.*, 2020) refletindo os avanços na medicina e no acompanhamento multidisciplinar.

No Brasil todas as anomalias congênitas detectadas no recém-nascido possuem caráter de notificação compulsória, através da Declaração de Nascido Vivo, documento padrão para registro no Sistema de Informações sobre Nascidos Vivos (Sinasc) (Brasil, 2024). A análise dos dados disponíveis neste sistema indica uma incidência significativa da SD em nível nacional. Em contraponto à prevalência mundial – anteriormente citada – a estimativa brasileira aponta que no ano de 2022 foram notificados 1.080 casos, apresentando uma prevalência de 4 casos por 10.000 indivíduos.

Contudo, ao realizar uma investigação mais detalhada da distribuição geográfica, é possível observar variações regionais. Na região Norte do país, essa prevalência é de 2 casos a cada 10.000 pessoas, com maior incidência de nascidos vivos com SD no estado do Pará, que registrou 29 casos em 2022, sugerindo uma possível concentração ou fatores locais que demandam investigação mais aprofundada (Brasil, 2024).

Diante disso, verificamos que a compreensão das diferentes formas de manifestação da SD é fundamental para uma abordagem abrangente desta condição genética complexa. A SD apresenta alterações celulares que ocorrem de três diferentes maneiras: 1) pela trissomia livre do cromossomo 21 — caracterizada por três cópias livres do cromossomo 21, observada em 95% dos casos de SD; 2) pelo mosaïcismo cromossômico — a presença de duas ou mais linhagens celulares com constituição cromossômica diferente em um mesmo indivíduo; e 3) pela translocação — a fusão de dois cromossomos acrocêntricos por seus centrômeros, originando perda do material genético dos braços curtos (Kaminker; Armando, 2008).

Além disso, a SD ocorre durante a formação do embrião e, dessa forma essa alteração não é influenciada por fatores étnicos ou geográficos. Portanto, a SD pode ocorrer em qualquer população humana (Moreira; El-Hani; Gusmão, 2000). Contudo, a prevalência da SD pode variar entre diferentes populações devido a fatores como a idade da gestora no momento da concepção e o acesso à cuidados pré-natais e diagnóstico pré-natal.

Adicionalmente, Antonarakis, em seus estudos, constatou que em 95% dos casos de trissomia do 21 por não disjunção ocorre no óvulo e somente 5% dos casos ocorre no espermatozoide durante a meiose I (Antonarakis, 1991). A idade materna avançada na concepção é um preditor importante para a SD, como ocorre em todas as trissomias autossômicas humanas. Esse risco está associado à não disjunção meiótica do cromossomo 21 — que ocorre durante a divisão celular do embrião, fazendo com que uma célula haplóide<sup>1</sup> tenha 24 cromossomos e a outra 22.

No que tange o diagnóstico, é comum que no pré-natal a progenitora realize procedimentos padrões através de exames como ultrassonografia para identificar possíveis indícios de defeitos congênitos. Para que seja possível diagnosticar a SD ainda no estágio gestacional utiliza-se métodos de rastreamento não invasivos que fornecem a estimativa de risco de ter a gravidez afetada (Vičić *et al.*, 2017), entretanto, para um diagnóstico definitivo, utiliza-se o cariótipo de células fetais cultivadas obtidas por meio de procedimentos invasivos, usualmente, biópsia de vilosidades coriônicas ou amniocentese (Vičić *et al.*, 2017).

Os procedimentos diagnósticos invasivos como biópsia de vilo corial e a amniocentese têm como objetivo a coleta de material placentário e/ou fetal para

---

<sup>1</sup> As células haploides humanas são os gametas, ou seja, os espermatozoides e os óvulos.

análise laboratorial. Apesar do caráter invasivo, os procedimentos permitem a análise de um cariótipo completo, fornecendo informações adicionais e substanciais além da detecção de trissomia fetal comum (Norton *et al.*, 2012).

Tratando-se da análise genética do cariótipo, que pode ser obtida através da amniocentese ou da biópsia de vilosidades coriônicas, é possível afirmar que a mesma apresenta uma precisão de 99% e é fundamental para o diagnóstico conclusivo da SD (Bull, 2020). Essa informação tem o potencial de auxiliar os pais na decisão sobre a continuidade da gravidez ou sobre a necessidade de realizar estudos adicionais de diagnóstico pré-natal.

Ademais, os rápidos avanços das tecnologias genéticas possibilitaram o rastreamento de aneuploidias<sup>2</sup> comumente associadas à idade materna avançada, com níveis de precisão superiores aos dos testes séricos e baseados em ultrassom. A triagem pré-natal para doenças genéticas fetais utilizando DNA livre de células é um exemplo de como os avanços tecnológicos têm impactado positivamente na assistência pré-natal (Rink; Norton, 2016).

O teste de DNA livre de células está sendo cada vez mais recomendado para mulheres que tem maior probabilidade de gestar criança com SD em função da idade avançada. A intenção dessa prática é reduzir a quantidade de procedimentos invasivos de cariotipagem fetal, bem como de abortos espontâneos associados a esses procedimentos (Malan *et al.*, 2019).

Sob esse prisma, a triagem por análise de DNA livre de células no sangue materno em gestações únicas, foi capaz de detectar mais de 99% dos fetos com trissomia do cromossomo 21 (Gil *et al.*, 2017). Este dado é relevante, pois indica que a análise de DNA livre de células, que oferece alta precisão com um único exame de sangue (Norton *et al.*, 2012), é um instrumento eficiente para a detecção precoce da SD.

A detecção precoce de anomalias congênitas é crucial para o planejamento da gestação. Diante do exposto verifica-se que os procedimentos invasivos, como amniocentese e biópsia de vilosidades coriônicas, fornecem informações genéticas precisas. No entanto, a análise de DNA livre de células é uma alternativa promissora

---

<sup>2</sup> Aneuploidias são alterações cromossômicas numéricas que se caracterizam pelo aumento ou diminuição de um tipo de cromossomo.

que minimiza a necessidade de procedimentos invasivos e visa revolucionar o diagnóstico pré-natal.

No cenário do diagnóstico pós-natal, é usual que os profissionais de saúde que acompanham o parto estejam em alerta para a possibilidade de SD, baseando-se nas características físicas do recém-nascido. Conforme descrito por Bull (2020), o exame físico inicial se destaca como a avaliação diagnóstica mais precisa, sendo capaz de identificar as distintas características faciais e a frequente hipotonia muscular, sinais que sugerem o diagnóstico de SD (Bull, 2020).

No período pós-natal, quando se suspeita da presença da SD, é aconselhável realizar um teste genético. Nesse contexto, o cariótipo se destaca como o exame mais apropriado, visto que seus resultados são de importantes para o aconselhamento genético. Em circunstâncias nas quais a confirmação do diagnóstico é essencial para decisões relacionadas ao manejo clínico, os resultados da hibridização *in situ* por fluorescência (FISH) do cromossomo 21 podem ser obtidos em um único dia. O diagnóstico de trissomia do cromossomo 21, realizado por meio desta técnica é complementado por um cariótipo para determinar se a causa é uma translocação ou não-disjunção (Bull, 2020).

### 2.1.1 Sintomas e manifestações clínicas

A Síndrome de Down possui uma série de indicadores, estes incluem aparência facial distinta, baixo peso ao nascer, estatura reduzida, hipotonia, atraso no desenvolvimento e déficit cognitivo. É importante salientar que a expressão desses sinais e sintomas pode ser modulada por uma variedade de fatores. Aspectos como a idade do indivíduo, o grau de mosaicismo e a presença de outras anomalias cromossômicas podem desempenhar um papel significativo na variação desses sintomas (Agarwal Gupta; Kabra, 2014).

O fenótipo fisionômico da SD envolve manifestações que afetam múltiplos sistemas corporais que comprometem a saúde dos sujeitos, em particular os sistemas musculoesquelético, neurológico e cardiovascular. Os indivíduos com SD geralmente apresentam baixa estatura, dedos curtos, hipotonia muscular, instabilidade atlantoaxial, densidade neuronal reduzida, hipoplasia cerebelar, deficiência intelectual e defeitos cardíacos congênitos (Antonarakis *et al.*, 2020).

Por apresentarem cerebelo menor do que o normal, pessoas com SD têm distúrbios de tônus muscular e coordenação que os predispõem a quedas e problemas

de equilíbrio (Dupre; Weidman-Evans, 2017). Essa condição impacta diretamente na eficácia dos movimentos e conseqüentemente na coordenação motora; sem contar que a maturação das estruturas articulares e do sistema neuromuscular reduz gradualmente a flexibilidade e a amplitude de movimento com o avançar da idade (Melo *et al.*, 2022).

Uma ampla gama de comorbidades pode estar presente em pessoas com SD. Esta população tem maior probabilidade de desenvolver hipotireoidismo, doenças autoimunes, apneia obstrutiva do sono, epilepsia, problemas auditivos e visuais, distúrbios hematológicos, infecções recorrentes, distúrbios de ansiedade e doença de Alzheimer de início precoce (Antonarakis *et al.*, 2020; Bull, 2020). É válido destacar que cada indivíduo apresenta esses fenótipos de forma variada devido à alta complexidade genética.

Para além disso, a trissomia do cromossomo 21 é conhecida por ser o distúrbio genético mais comum associado à deficiência intelectual — em sua maioria de leve a moderada (Antonarakis *et al.*, 2020) — e é caracterizada por uma variedade de características clínicas adicionais que afetam a saúde, o desenvolvimento e a função da população com SD (Bull, 2020).

A deficiência intelectual (DI) é um distúrbio comum do neurodesenvolvimento que afeta a população em geral e que apresenta heterogeneidade fenotípica e etiológica, significando que pode ser em decorrência de diversas causas. Esses distúrbios surgem de alterações genéticas e/ou fatores ambientais que influenciam o desenvolvimento do cérebro e têm conseqüências de curto e longo prazo na cognição, na interação social e no comportamento (Fernández-Blanco; Dierssen, 2020).

Além disso, a DI é caracterizada por limitações tanto na inteligência (aprendizado, raciocínio, resolução de problemas) quanto nas habilidades adaptativas conceituais (habilidades de linguagem, leitura e escrita, dinheiro, tempo, conceitos numéricos, memória e raciocínio), sociais (comunicação e responsabilidades) e práticas (inclui atividades de cuidados pessoais ou da vida diária, administração de dinheiro e possui algumas habilidades ocupacionais) (Gupta, 2023).

Diante disso, constata-se que pessoas que apresentam DI são caracterizadas por dificuldades e limitações na vida diária básica e em várias habilidades (Patel *et al.*, 2020). Em adição, entre os diversos problemas enfrentados pela pessoa com DI, a falta de oportunidade que as permitam explorar o ambiente e os seus movimentos é uma barreira que pode ocasionar a privação motora (Gorla; Araujo; Rodrigues, 2014).

A relação entre DI e habilidades motoras prejudicadas tem sido amplamente investigada em crianças e adolescentes com SD, no entanto, poucos estudos detectaram competência motora grossa e fina em adultos com SD (Alesi *et al.*, 2022). Apesar de já existirem estudos que abordem essa temática ainda não há uma avaliação abrangente da competência motora em adultos com SD (Quinzi *et al.*, 2022b).

### *2.1.2 Implicações na atividade física e na coordenação motora*

Além dos aspectos explanados no tópico anterior, pessoas com DI, sobretudo adultos, apresentam taxas mais altas de obesidade em comparação com a população em geral. Em pessoas com SD o risco de desenvolver obesidade é ainda maior quando comparados com pessoas que apresentam DI sem a síndrome (Krause *et al.*, 2016).

No estudo de Hsieh e colaboradores (2014) os resultados mostraram alta taxa de obesidade observada em certos subgrupos de adultos com DI, incluindo ser do sexo feminino, ter SD, tomar medicamentos que causam ganho de peso, consumir mais refrigerante e praticar menos atividade física (Hsieh; Rimmer; Heller, 2014).

A literatura mais atual reforça esse fato e acrescenta que tanto as crianças quanto os adultos com SD têm taxas mais altas de sobrepeso e obesidade em comparação com aqueles com transtorno do espectro autista ou deficiência intelectual e transtorno de desenvolvimento (Ptomey *et al.*, 2020). E acrescentam que controlar e monitorar o status de peso em pessoas com SD pode reduzir os riscos à saúde (Ptomey *et al.*, 2022).

Ademais, a obesidade observada em indivíduos com SD pode aumentar proporcionalmente com a idade, especialmente se o indivíduo leva uma vida fisicamente inativa. Esta condição está associada a uma taxa metabólica lenta, concentrações anormais de leptina no sangue e baixos níveis de atividade física (Mazurek; Wyka, 2015).

No que diz respeito ao nível de atividade física de pessoas com SD é possível afirmar que dificilmente eles alcançam a quantidade diária das recomendações da Organização Mundial da Saúde de 150 minutos de atividade aeróbia moderada por semana para adultos de 18 a 64 anos (Bull *et al.*, 2020). Em um estudo que avaliou a quantidade de atividade física — moderada a vigorosa — utilizando acelerômetro triaxial (RT3, Stayhealthy, Inc., Monrovia, CA, USA) foi demonstrado que adultos com

SD completaram menores quantidades totais de atividade física em termos de contagem média de atividade em comparação com aquelas sem a síndrome (Shields *et al.*, 2018).

Na população em geral, um nível de atividade física insuficiente está associado ao sobrepeso e à obesidade e constitui um fator de risco para diabetes tipo 2, acidente vascular encefálico e doenças cardiovasculares. No caso de indivíduos com SD há maior predisposição para o sobrepeso e outras disfunções metabólicas devido à problemas endocrinológicos (Quinzi *et al.*, 2021). Diante disso, é possível supor que as próprias complicações de saúde, como comprometimento musculoesqueléticos e cardiovasculares (Shields *et al.*, 2017), podem ser barreiras para a prática de atividade física em indivíduos com SD (Alesi *et al.*, 2022), pois podem influenciar as capacidades físicas e comportamentais desses sujeitos.

Esse dado é importante visto que a prática de atividade física é um fator-chave para melhorar a saúde, a função cognitiva (Ptomey *et al.*, 2018) e o desempenho das atividades de vida diária em adultos com SD. Para além disso, a atividade física favorece a superação de barreiras sociais, ambientais — como o aumento da conexão social (Shields *et al.*, 2018) — e físicas, como distúrbios musculoesqueléticos e alterações cardiovasculares que podem influenciar as capacidades físicas e comportamentais (Melo *et al.*, 2022).

Além dos fatores acima mencionados não se pode excluir a existência de uma relação diretamente proporcional entre atividade física e coordenação motora em indivíduos com SD. Essa relação é significativa visto que a coordenação motora diz respeito a capacidade de uma pessoa realizar movimentos articulados e, além disso, exige que o indivíduo controle seu corpo no espaço de forma sincronizada.

Dessa forma, a atividade física beneficia a coordenação motora da mesma forma que uma coordenação motora bem desenvolvida contribui para melhores índices de atividade física. Sobre essa associação Quinzi e colaboradores (2022) apontam que uma possível baixa competência motora observada nessa população possa ser explicada por uma menor exposição a programas de atividade física (Quinzi *et al.*, 2022b).

Esta posto na literatura que adultos com SD ativos fisicamente apresentam melhores escores de desempenho motor quando comparados com indivíduos inativos (Alesi *et al.*, 2022). Além do mais, o domínio de habilidades motoras fundamentais,

como correr, rolar e saltar, pode ser um fator determinante, favorecendo ou limitando a inclusão no esporte e na atividade física de indivíduos com SD (Quinzi *et al.*, 2022a).

Ao considerar os indivíduos com SD podemos afirmar que frequentemente eles enfrentam desafios significativos em seu desenvolvimento motor e, conseqüentemente, em seu sistema locomotor. As alterações motoras nesta população referem-se a restrições em domínios como planejamento e controle motor, habilidade de locomoção e controle de objetos, destreza manual, habilidades motoras finas e habilidades de escrita (Alesi *et al.*, 2022).

Quando avaliado desenvolvimento motor grosso, crianças com SD demonstram escores significativamente menores nas tarefas em relação ao grupo controle sem síndrome (Schott; Holfelder, 2015). Ademais, crianças com SD apresentam menor função motora grossa do que crianças com desenvolvimento típico – sem SD - em pé, andando, correndo e saltando (Brugnaro *et al.*, 2024) e têm dificuldade em produzir padrões de coordenação bimanual e intermembros como os exigidos no salto para frente com balanço de braço (Alesi *et al.*, 2018).

Portanto, esse desempenho significativamente menor — mostrado em estudos anteriores — pode se justificar pela estreita relação entre padrões motores grossos e os processos cognitivos, que são comprometidos em pessoas com SD. Visto que, para realizar padrões motores complexos é necessário processar informações aferentes de forma rápida e eficiente e juntos ter a capacidade de controlar a postura, a produção de força muscular e o equilíbrio (Alesi; Battaglia, 2019).

Nota-se que a literatura apresenta uma gama de estudos investigando a coordenação de crianças, entretanto em indivíduos adultos com SD ainda é necessário explorar o domínio da coordenação motora. Pois, esse conhecimento poderia auxiliar os profissionais a elaborar programas específicos de atividade física para aumentar a competência motora global e, conseqüentemente, aprofundar a compreensão dos mecanismos promotores de um estilo de vida ativo (Quinzi *et al.*, 2022b).

## 2.2 Coordenação motora

Na literatura encontra-se uma diversidade de termos que envolve a coordenação motora, não há um consenso na abordagem deste conceito, nem mesmo na sua operacionalização ou formas da sua avaliação (Gorla; Araujo; Rodrigues, 2014). Terminologias diversas como habilidades motoras/de movimento

fundamentais, habilidade motora, proficiência motora, desempenho motor e coordenação motora têm sido utilizadas. Segundo Bardid e colaboradores ambas se enquadram no âmbito da competência motora (Bardid *et al.*, 2019).

Isso revela a natureza complexa da coordenação motora e revela a necessidade de encontrar um conceito universal que viabilize a operacionalização e análise das características envolvidas no contexto motor do ser humano, tanto no aspecto qualitativo quanto no aspecto quantitativo.

A coordenação motora, ou competência motora, pode ser definida como habilidade que uma pessoa tem de executar diferentes gestos motores utilizando competências fundamentais de movimento, sejam eles componentes da coordenação motora grossa (geral) ou fina (específica), essas habilidades são essenciais para um pleno desenvolvimento das tarefas da vida diária (Bardid *et al.*, 2019).

A coordenação motora grossa, refere-se à capacidade de mobilizar grandes grupos musculares para executar movimentos. Essas habilidades são essenciais para a interação do ser humano com o mundo e para a realização de uma ampla variedade de atividades cotidianas. Gorla e colaboradores ao enunciar trabalhos de Kiphard (1976) estratifica três características que satisfazem uma boa coordenação motora (veja o Quadro 1).

Quadro 1 - Características que satisfazem uma boa coordenação motora

<b>Características</b>
a) Adequada medida de força que determina a amplitude e a velocidade do movimento;
b) Adequada seleção dos músculos que influenciam a condução e a orientação do movimento;
c) Capacidade de alternar rapidamente entre tensão e relaxação musculares, premissas de toda a forma de adaptação motora.

Fonte: Gorla; Araujo; Rodrigues, 2014.

Conforme a análise de Ulrich, a coordenação motora grossa é caracterizada pela mobilização de amplos grupos musculares, sendo uma força produtora essencial para segmentos como membros superiores, inferiores e tronco (Ulrich, 2000). Para o mesmo autor, a competência motora grossa é frequentemente especificada como proficiência em uma série de habilidades fundamentais.

Os movimentos fundamentais podem ser categorizados da seguinte maneira:  
1) locomoção: caminhar, correr, pular, saltar e saltitar; 2) manipulação: 2.1) propulsivo:

rolar bola, arremessar, chutar, rebater, golpear, quicar; 2.2) absortivo: pegar e prender; e 3) estabilidade: 3.1) axial: curvar, esticar, torcer, girar, balançar; 3.2) posturas estática e dinâmica: equilíbrio em pé, rolar, iniciar, parar, esquivar (Gallahue; Donnelly, 2007).

Considerando os conhecimentos supracitados nota-se que o ato de saltar caracteriza-se como uma habilidade dentro da classe de movimentos fundamentais categorizada como uma habilidade de locomoção. Auyang e colaboradores (2009) afirmam que pesquisas modelando a marcha a partir dos saltos apontam para um contexto ideal visando estudar a estabilização de variáveis de desempenho biomecânico (Auyang; Yen; Chang, 2009). Considerando o exposto, constatamos que a habilidade de salto está inserida no domínio da coordenação motora e têm sido objeto de interesse de extensa pesquisa, especialmente no que se refere à sua correlação com fatores como idade, composição corporal, sexo, contexto socioeconômico, atividade física e prática esportiva.

As evidências mais recentes sugerem uma associação positiva entre a competência motora e diversos aspectos da saúde, incluindo atividade física, aptidão cardiorrespiratória, força muscular, resistência muscular e manutenção de um peso saudável (Barnett *et al.*, 2016). Battaglia e colaboradores mostraram que existe uma influência negativa de níveis mais elevados de IMC sobre a coordenação motora, ou seja, indivíduos com sobrepeso ou obesidade são mais propensos a possuir coordenação motora mais baixa do que indivíduos com peso saudável (Battaglia *et al.*, 2021).

Além disso, na literatura encontra-se que medidas antropométricas apresentam uma relação inversamente proporcional com a coordenação motora, enquanto o desempenho apresenta uma relação diretamente proporcional (Gorla *et al.*, 2022). Considerando as pessoas com SD, alguns fatores morfofuncionais como a diminuição do tamanho do corpo caloso e do cerebelo, bem como a redução do giro temporal superior e do volume do tronco encefálico, podem apresentar impacto negativo nas habilidades motoras grossas, tanto em crianças quanto em adultos com SD (Alesi *et al.*, 2022). Sendo assim, faz-se necessário que a coordenação motora desta população seja avaliada ao longo da vida.

### 2.2.1 Avaliação da coordenação motora

A avaliação física torna possível aos profissionais avaliadores monitorar alterações do desenvolvimento, identificar atrasos e obter esclarecimentos sobre estratégias instrutivas. Em relação à mensuração das habilidades motoras, embora haja ampla disponibilidade de avaliações em crianças, há carência de testes em adultos (Alesi *et al.*, 2022).

Entre os testes existentes podemos identificar diferentes métodos de avaliação do desempenho coordenativo, destacam-se a escala *Movement Assessment Battery for Children* (M-ABC), o Teste de Proficiência Motora de Bruininks-Oseretsky (BOT-2), o *Developmental Test of Visual Motor Integration* (VMI), o *Test of Gross Motor Development* (TGMD-3) e o Teste de Coordenação Corporal para Crianças (Körperkoordinations Test Für Kinder – KTK). Para melhor compreensão iremos abordar de forma sucinta cada um dos testes a seguir.

A bateria M-ABC é utilizada para avaliar habilidades motoras em crianças, particularmente aquelas com dificuldades motoras. Ele abrange uma variedade de habilidades, incluindo controle postural, coordenação e manipulação de objetos (Henderson; Sugden; Barnett, 2007). O BOT-2 é projetado para avaliar as habilidades motoras brutas e finas em crianças e adolescentes de 4 a 21 anos de idade. Ele examina uma ampla gama de habilidades motoras, incluindo equilíbrio, coordenação, destreza manual e velocidade de corrida (Bruininks; Bruininks, 2012).

Prosseguindo com a descrição dos testes temos o VMI que avalia a integração visual-motora, ou seja, a capacidade de coordenar a percepção visual com os movimentos motores. Ele é frequentemente utilizado para identificar dificuldades na coordenação olho - mão, habilidades de escrita e desempenho em tarefas que exigem precisão visual-motora (Beery; Beery, 2004). Já o TGMD-3 é projetado para avaliar o desenvolvimento de habilidades motoras grossas em crianças de 3 a 10 anos de idade. Ele avalia habilidades como corrida, saltos, equilíbrio, arremesso e recepção de objetos (Ulrich, 2019).

Por fim o teste KTK é um instrumento de avaliação que visa medir a coordenação motora de crianças em idade escolar (Kiphard; Schilling, 1974). Ele tem sido bastante utilizado para avaliar o construto de quatro tarefas motoras, denominadas como coordenação motora, em pessoas com deficiência. Além de ser amplamente utilizado por profissionais da área da saúde e educação para avaliar o

desenvolvimento motor de crianças e identificar possíveis dificuldades de coordenação que possam interferir em suas atividades diárias.

O KTK surgiu diante da necessidade de diagnosticar de forma mais apurada as deficiências motoras em crianças com lesões cerebrais e/ou desvios comportamentais (Gorla; Araujo; Rodrigues, 2014). Essa bateria de testes é composta por quatro tarefas cujo objetivo é avaliar as capacidades que segundo Kiphard e Schilling (1974) compõem o construto denominado coordenação motora. A seguir serão apresentadas as características de cada uma das tarefas do KTK.

A primeira tarefa é o teste de equilíbrio na trave — É realizado em três traves de madeira com três metros de comprimento e as larguras de três, quatro e meio e seis centímetros. Ao comando do avaliador o sujeito começa a caminhar para trás sobre a trave colocando um pé de cada vez. São computados os passos dados sobre a trave sem que o indivíduo avaliado toque o chão ou os travessões.

Em seguida temos o teste de saltos monopedais — O voluntário faz uma sequência de saltos sobre blocos de espuma (5 x 20 x 60 cm) posicionados a 1,5m do avaliado. A cada salto bem-sucedido é acrescentado um bloco de espuma, o teste é interrompido caso o voluntário erre por três vezes consecutivas na mesma altura. É computada a somatória dos pontos obtidos nas duas pernas (direita e esquerda), sendo considerado 3 pontos por salto correto na primeira tentativa, 2 na segunda e 1 na terceira em cada perna/altura.

Em sequência temos o teste de saltos laterais — É executado sobre uma plataforma de 100 x 60cm (2 cm de espessura) com um travessão no meio de 2 cm de largura. O teste consiste em realizar o maior número de saltos laterais no tempo de 15 segundos sem tocar o travessão ou o chão ao lado da plataforma. Como critério de avaliação do desempenho é registrado o número de saltos corretos realizados em duas tentativas válidas.

Por fim, temos o teste de transferência de plataforma — Este utiliza-se de duas plataformas idênticas que são posicionadas lado a lado. O voluntário fica em pé em cima da plataforma e ao sinal do avaliador precisa pegar a plataforma do lado e transferir para o lado oposto, em seguida subir sobre a plataforma recém-transferida. Para a transferência realizada de modo correto é recebido um ponto e para a mudança de plataforma computa-se mais um ponto. Este processo deve ser repetido na maior velocidade, no tempo de 20 segundos.

A descrição detalhada das tarefas do KTK demonstra a abrangência e especificidade dos testes, aspectos que têm contribuído para sua ampla aceitação e contínua aplicação em diversas áreas de pesquisa. Assim, a persistente utilização e investigação em torno do KTK não apenas reafirmam sua relevância, mas também fomentam aprimoramentos contínuos nos métodos de avaliação, assegurando uma ferramenta cada vez mais precisa e inclusiva para diferentes grupos populacionais.

Dentre as tarefas do KTK, destaca-se a de saltos laterais, por sua capacidade de avaliar a coordenação bilateral — habilidade de coordenar ambos os lados do corpo — e a agilidade, aspectos cruciais do desenvolvimento motor. Este teste pode ser indicativo de habilidades motoras gerais e potenciais dificuldades de coordenação motora, pois exige que o indivíduo realize saltos rápidos e repetidos sobre um sarrafo em um curto intervalo de tempo, oferecendo uma medida do desempenho motor.

Além disso, a inclusão do teste de saltos laterais permite aos profissionais identificarem atrasos no desenvolvimento e monitorar a evolução da coordenação motora, subsidiando estratégias de intervenção mais eficazes. A aplicação prática dessa tarefa reflete a abrangência e especificidade do KTK, reafirmando a relevância deste instrumento na avaliação e no acompanhamento do desenvolvimento motor em adultos SD.

Ao longo de mais de quatro décadas, o teste KTK tem sido referenciado em estudos científicos. Durante esse período, investigações em diversas populações, como escolares, pessoas com deficiência intelectual, surdos e pessoas com SD, têm subsidiado novos avanços e, conseqüentemente, novas propostas de operacionalização na avaliação da coordenação motora global.

O pesquisador Gorla (2001), com o objetivo de analisar a coordenação motora global de crianças com deficiência intelectual, elaborou um programa de educação física orientado, neste estudo o autor utilizou o KTK para avaliar nove crianças com idade entre seis e onze anos no pré e pós-teste. Ao final do estudo observou-se que o programa de educação física orientado possibilitou uma melhora na variável da coordenação motora global dos participantes (Gorla, 2001).

Mais recentemente, em uma revisão sistemática realizada por Gorla e colaboradores (2022), foram identificadas pesquisas que utilizaram o teste KTK nos últimos anos para avaliação da coordenação motora. Entre as categorias mais relacionadas com o teste, estão: a) estudos que relacionaram a coordenação motora com características antropométricas; b) estudos que relacionaram a progressão

motora com aspectos de desempenho; e c) estudos que traçaram perfis de população (Gorla *et al.*, 2022).

Por outro lado, ainda não foi identificado nenhum trabalho que adicione uma abordagem instrumentada com sensores inerciais associada às tarefas da bateria de testes KTK, diferentemente do que vem sendo realizado com a bateria do TGMD por pesquisadores da Itália nas tarefas de chute (Quinzi *et al.*, 2022a) e salto (Quinzi *et al.*, 2021).

### 2.3 Saltos

O salto constitui uma habilidade motora fundamental e oferece um modelo valioso para o estudo da locomoção, pois envolve ações rápidas de força e coordenação intersegmentar. A avaliação do salto permite a identificação de variáveis biomecânicas e neuromusculares relevantes, especialmente nos membros inferiores (Auyang; Chang, 2013). Trata-se de uma tarefa amplamente utilizada em baterias de avaliação motora em diferentes contextos, como o esporte, a reabilitação e a pesquisa em desenvolvimento motor.

Na literatura, os saltos são comumente classificados em três categorias principais, de acordo com a direção do movimento e a mecânica envolvida: salto vertical, salto de queda (drop jump) e salto horizontal. Cada uma dessas modalidades apresenta demandas neuromusculares específicas, exigindo distintos níveis de força, potência, tônus e controle muscular para uma execução eficiente. Esses requisitos estão estreitamente relacionados à coordenação motora, ao equilíbrio dinâmico, ao controle atencional e ao sistema de controle postural. Assim, o salto constitui uma tarefa abrangente para a análise do controle da locomoção humana (Quinzi *et al.*, 2021).

Entre as variações de salto, o salto lateral se destaca por desafiar o sistema neuromuscular ao integrar força, equilíbrio e coordenação em uma única tarefa. Na bateria KTK, a tarefa de saltos laterais consiste em saltos alternados sobre uma plataforma, nos quais ambos os pés deixam o solo de forma sincronizada, deslocando-se lateralmente entre a decolagem e o pouso. Essa sinergia exige uma comunicação eficiente entre os hemisférios cerebrais, a fim de cronometrar adequadamente os movimentos bilaterais (Kirkland; Wadden; Ploughman, 2022).

## 2.4 Sensores inerciais

A abordagem instrumentada tem sido utilizada em diversos teste funcionais como o *Time Up and Go* (TUG) e *Sit to Stand* e pode fornecer uma gama de informações no campo da aceleração linear e velocidade angular. As informações obtidas pelo sensor inercial têm grande potencial de qualificar e simplificar a aplicação de testes de avaliação motora em ambientes de prevenção e intervenção por profissionais da área da saúde.

Os sensores inerciais são dispositivos eletrônicos que compõem uma classe fundamental de dispositivos utilizados para medir a aceleração linear (acelerômetros) e a velocidade angular (giroscópios) de um objeto. Esses sensores são capazes de detectar mudanças no movimento e na posição de um objeto em relação a um sistema de referência, fornecendo dados precisos sobre sua movimentação triaxial.

Ademais, o termo "inercial" deriva do fato de que esses sensores medem não apenas o movimento do objeto ao qual estão fixados, mas também o seu próprio movimento, baseando-se no princípio da inércia (Iosa *et al.*, 2016). Esses sensores desempenham um papel fundamental na compreensão e no aprimoramento do desempenho humano, bem como na detecção de problemas de saúde relacionados ao movimento.

### 2.4.1 Uso de sensores inerciais para avaliação do movimento humano

A análise do movimento humano é uma ferramenta essencial para especialistas e pesquisadores, permitindo uma avaliação precisa e quantitativa dos parâmetros de movimento dos indivíduos. A obtenção meticulosa de dados sobre os movimentos corporais é de suma importância para a identificação de irregularidades no controle neuromuscular, distúrbios biomecânicos e a prevenção de lesões potenciais (Lopez-Nava; Munoz-Melendez, 2016).

Além disso, o uso de sensores inerciais, que empregam tecnologias como acelerômetros e giroscópios, pode preencher lacunas nos sistemas subjetivos de avaliação do movimento humano. Em um estudo de 2010, constatou-se que essas tecnologias são aplicáveis em diferentes regiões do corpo e possuem um alto grau de precisão e confiabilidade, permitindo a medição repetida de movimentos específicos em diversos contextos, inclusive em tarefas de curta duração (Cuesta-Vargas; Galán-Mercant; Williams, 2010).

Dessa forma, a incorporação de sensores inerciais apresenta-se como uma abordagem inovadora e altamente eficaz na avaliação do movimento humano, superando as limitações dos métodos convencionais. Em comparação com os testes realizados em laboratórios, os sistemas de sensores inerciais vestíveis desempenham um papel crucial ao alcançar uma população mais ampla do que os sistemas tradicionais de análise de movimento têm capacidade de atingir (Lopez-Nava; Munoz-Melendez, 2016).

A análise instrumentada do movimento permite a determinação dos parâmetros cinemáticos e cinéticos dos movimentos humanos, bem como a avaliação quantitativa das funções musculoesqueléticas (Iosa *et al.*, 2016). Ou seja, através da análise instrumentada do movimento, é possível quantificar e examinar detalhadamente o padrão de movimento, a cinemática e a cinética dos movimentos humanos, fornecendo uma compreensão abrangente das interações biomecânicas envolvidas nas atividades físicas e nas tarefas motoras.

Ainda segundo esses autores, os sensores inerciais têm sido amplamente utilizados em diversas áreas, destacando-se a análise da marcha, os testes clínicos instrumentados, as atividades da vida diária e a avaliação de tremor (Iosa *et al.*, 2016; Santos *et al.*, 2022). Já os autores Lopez-Nava e Munoz-Melendez (2016) relatam a necessidade de explorar a avaliação com tecnologia de sensores inerciais diversificando a população, inclusive adicionando à essa abordagem pessoas com deficiência.

Especificamente para o público com SD, essa abordagem integrada à avaliação motora se revela essencial, visto que uma das características distintivas da SD é a possível presença de deficiência intelectual (Duarte; Costa; Gorla, 2017), o que pode dificultar a compreensão durante a realização de testes e escalas para avaliação do desempenho motor.

Nesse contexto, os sensores inerciais oferecem uma alternativa valiosa, permitindo uma avaliação mais objetiva e precisa do movimento, independentemente do nível de compreensão do indivíduo, e ajudando a superar os desafios associados à avaliação convencional. A ideia é que o uso do sensor inercial possa ser uma alternativa atribuir parâmetros de qualidade da execução do movimento de salto proposto pela tarefa para além do número de saltos e da observação.

Este protocolo poderá ser útil para a avaliação motora da habilidade de saltar de forma segura, rápida, eficiente e sem viés de subjetividade. Com isso os

profissionais, de posse dos resultados dessa avaliação, poderão enfatizar treinamentos e atividades visando o desenvolvimento dessa habilidade. Visto que acreditamos que coordenação motora de saltos é de suma importância para a participação em atividades físicas, esportivas e para a participação social de um modo geral.

A revisão da literatura apresentada demonstra que, embora existam inúmeros estudos sobre o desenvolvimento motor em crianças com SD, há uma lacuna significativa na investigação da coordenação motora em adultos com esta condição. Considerando as implicações da hipotonia, alterações cerebelares e baixos níveis de atividade física nesta população, torna-se relevante investigar o desempenho em tarefas que avaliem componentes da coordenação motora, como os saltos laterais. A utilização de acelerômetros como ferramenta de análise objetiva do movimento permite identificar padrões e variáveis que podem não ser perceptíveis através da observação clínica, oferecendo novas perspectivas para a compreensão dos mecanismos subjacentes às dificuldades de coordenação nesta população.

### 3 OBJETIVOS

#### 3.1 *Objetivo Geral*

Comparar os padrões motores de saltos laterais entre adultos com e sem SD por meio da análise de sinais triaxiais de aceleração linear no domínio do tempo.

#### 3.2 *Objetivos Específicos*

- a) Identificar as métricas de aceleração triaxial que discriminam os padrões motores entre os grupos;
- b) Estimar a magnitude das diferenças entre os grupos nas métricas preditivas identificadas;
- c) Identificar *clusters* de participantes com padrões motores semelhantes por meio da análise de componentes principais e da classificação hierárquica.

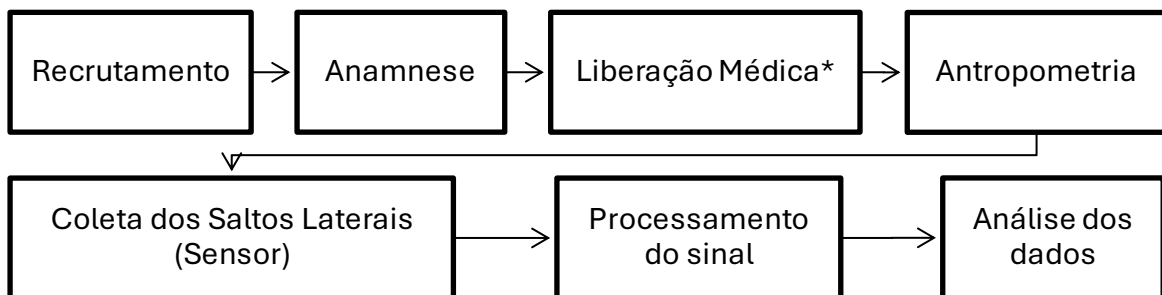
## 4 MÉTODOS

### 4.1 Delineamento do estudo

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa transversal comparativa, de abordagem quantitativa e descritivo-analítica. Os dados foram coletados em um único encontro, por meio da captação de sinais de aceleração durante o teste de saltos laterais. A amostra foi composta por indivíduos adultos com idade entre 18 e 40 anos, divididos em dois grupos: pessoas com SD e pessoas sem SD (sem-SD), permitindo a comparação entre os perfis de movimento dos participantes.

O protocolo experimental foi dividido em sete etapas principais, organizadas conforme o fluxo apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Procedimentos do estudo



Legenda: \* Etapa realizada apenas pelo grupo com SD

### 4.2 Aspectos Éticos

O estudo foi conduzido após aprovação pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos do Instituto de Ciências da Saúde da Universidade Federal do Pará (Parecer nº 6.087.346/2023), em conformidade com as diretrizes da Resolução CNS 466/2012. Todos os procedimentos foram previamente submetidos à avaliação ética, com início das atividades de pesquisa somente após a obtenção do parecer favorável. Os participantes receberam informações detalhadas sobre os objetivos, metodologia, potenciais riscos e benefícios antes de qualquer intervenção, assegurando plena compreensão dos aspectos envolvidos.

O processo de consentimento foi adaptado conforme as necessidades específicas de cada grupo. Para os participantes com SD, o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) foi assinado por seus responsáveis legais. Como parte do compromisso ético com a autonomia dos participantes, todos os indivíduos com SD tiveram a oportunidade de registrar sua adesão através do Termo de Assentimento Livre e Esclarecido (TALE) para complementar o processo. Já no grupo controle (sem

SD), o consentimento foi obtido exclusivamente por meio da assinatura direta do TCLE pelos próprios participantes.

### *4.3 Participantes*

#### *4.3.1 Critérios de elegibilidade*

Para inclusão no estudo, os participantes deveriam apresentar deambulação independente (sem auxílio) e não possuir: cardiopatias, transtorno do espectro autista associado ou contraindicações para prática de atividade física moderada. Bem como, histórico livre de lesões musculoesqueléticas nos membros inferiores nos últimos 12 meses e não utilização de medicamentos que afetem a função neuromotora.

#### *4.3.2 Recrutamento e amostragem*

O estudo adotou uma amostragem por conveniência, composta por 42 adultos, sendo 21 com síndrome de Down (grupo SD) e 21 sem a condição (grupo sem-SD), pareados por sexo e idade ( $\pm 2$  anos). Para garantir a comparabilidade entre os grupos, o processo de recrutamento iniciou-se pelo grupo com SD, cujos participantes foram identificados através de parceria estabelecida com a Associação de Pais e Amigos dos Excepcionais (APAE) na região de Belém/PA, onde foi realizada divulgação direcionada às famílias e cuidadores. Em seguida, o grupo sem-SD foi selecionado entre a comunidade acadêmica da Universidade Federal do Pará, com a ressalva de que não praticavam atividades físicas sistemáticas (permitindo-se apenas práticas recreativas eventuais).

Já quanto à composição final da amostra, foram incluídos exclusivamente participantes que executaram o protocolo de saltos laterais conforme estabelecido, após demonstração e período de tentativas supervisionadas. Além disso, para preservar o pareamento original, os indivíduos do grupo sem-SD cujos pares no grupo SD não completaram o teste foram igualmente excluídos. Por fim, todos os participantes incluídos foram voluntários que, após triagem inicial e formalização do consentimento, atenderam integralmente aos critérios do estudo.

### *4.4 Procedimentos*

#### *4.4.1 Anamnese*

A anamnese constituiu a primeira etapa avaliativa, servindo como caracterização biopsicossocial dos participantes. Por meio de um questionário verificou-se os critérios de elegibilidade e registraram-se dados sociodemográficos,

histórico clínico e, sobretudo para o grupo SD, o histórico de terapias e atividades físicas prévias.

#### *4.4.2 Liberação Médica*

Em atenção às particularidades cardiorrespiratórias associadas à síndrome de Down, o grupo SD foi submetido a uma avaliação médica especializada antes da participação no estudo. O protocolo incluiu uma bateria de exames complementares como eletrocardiograma, ecocardiograma e teste ergométrico, por fim, realizaram uma consulta com cardiologista para avaliação e obtenção da liberação para a participação na pesquisa. Os participantes que atenderam a todos os critérios receberam liberação médica formal, sendo então elegíveis para as etapas subsequentes após um período mínimo de 48 horas.

#### *4.4.3 Antropometria*

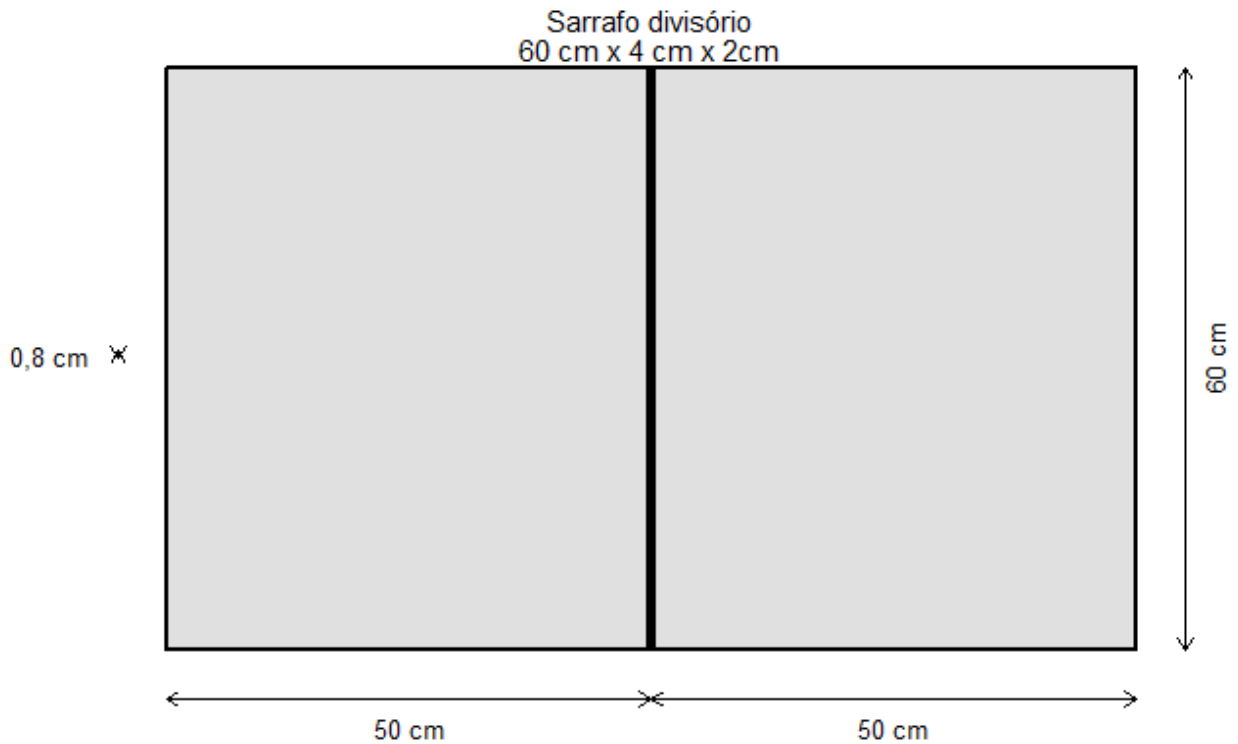
Como etapa subsequente realizou-se a coleta dos dados antropométricos, na qual foram registradas as medidas de massa corporal, estatura e comprimento da perna. As medições ocorreram sob condições padronizadas: os voluntários utilizaram a menor quantidade de vestimenta possível e retiraram os calçados para as medições de estatura e massa corporal, realizadas com um estadiômetro de parede (Sanny) e uma balança (Filizola), respectivamente. O comprimento da perna foi aferido com uma fita antropométrica (Prime Med), posicionada da espinha ilíaca superior até o maléolo lateral da perna direita dos participantes em decúbito dorsal.

#### *4.4.4 Avaliação dos saltos laterais*

##### *4.4.4.1 Adaptação da tarefa de saltos laterais do KTK*

O protocolo utilizou a tarefa de saltos laterais da bateria KTK adaptada para avaliação em adultos, cujo objetivo principal consistiu em quantificar o número de saltos consecutivos. A avaliação foi realizada por uma avaliadora treinada, seguindo as orientações e os critérios de desempenho estabelecidos no manual da bateria KTK (Gorla; Araujo; Rodrigues, 2014). Os participantes foram instruídos a saltar lateralmente com ambos os pés simultaneamente, da forma mais rápida possível, durante 15 segundos, sobre uma plataforma padronizada, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2 – Dimensões da plataforma para saltos laterais



Fonte: Adaptado de Gorla; Araujo; Rodrigues, 2014.

Legenda: Largura (100 cm), Comprimento (60 cm), Espessura (0,8 cm) e Sarrafo Divisório (60 cm x 4 cm x 2 cm) da plataforma.

Durante a execução, enfatizou-se a necessidade de evitar a alternância sequencial dos pés, mantendo a simultaneidade do movimento. Para padronizar o procedimento, todos os participantes posicionaram-se no lado esquerdo da plataforma, garantindo que o primeiro salto fosse direcionado para o lado direito (Figura 3). Antes do início da coleta oficial dos dados, o avaliador demonstrou a tarefa e orientou os participantes a realizarem uma tentativa de familiarização, assegurando a correta compreensão dos procedimentos.

Em seguida, os voluntários executaram duas tentativas válidas, cuja pontuação foi determinada conforme o seguinte critério: cada salto lateral para um lado correspondia a um ponto, enquanto o salto de retorno gerava um ponto adicional. Os participantes receberam um intervalo de 1-2 minutos entre as duas tentativas, a fim de evitar efeitos de fadiga.

Figura 3 – Voluntário sobre plataforma de salto



Legenda: A figura demonstra um voluntário sobre a plataforma de saltos laterais, posicionado de frente para o avaliador.

#### 4.4.4.2. Instrumentalização do teste com o acelerômetro

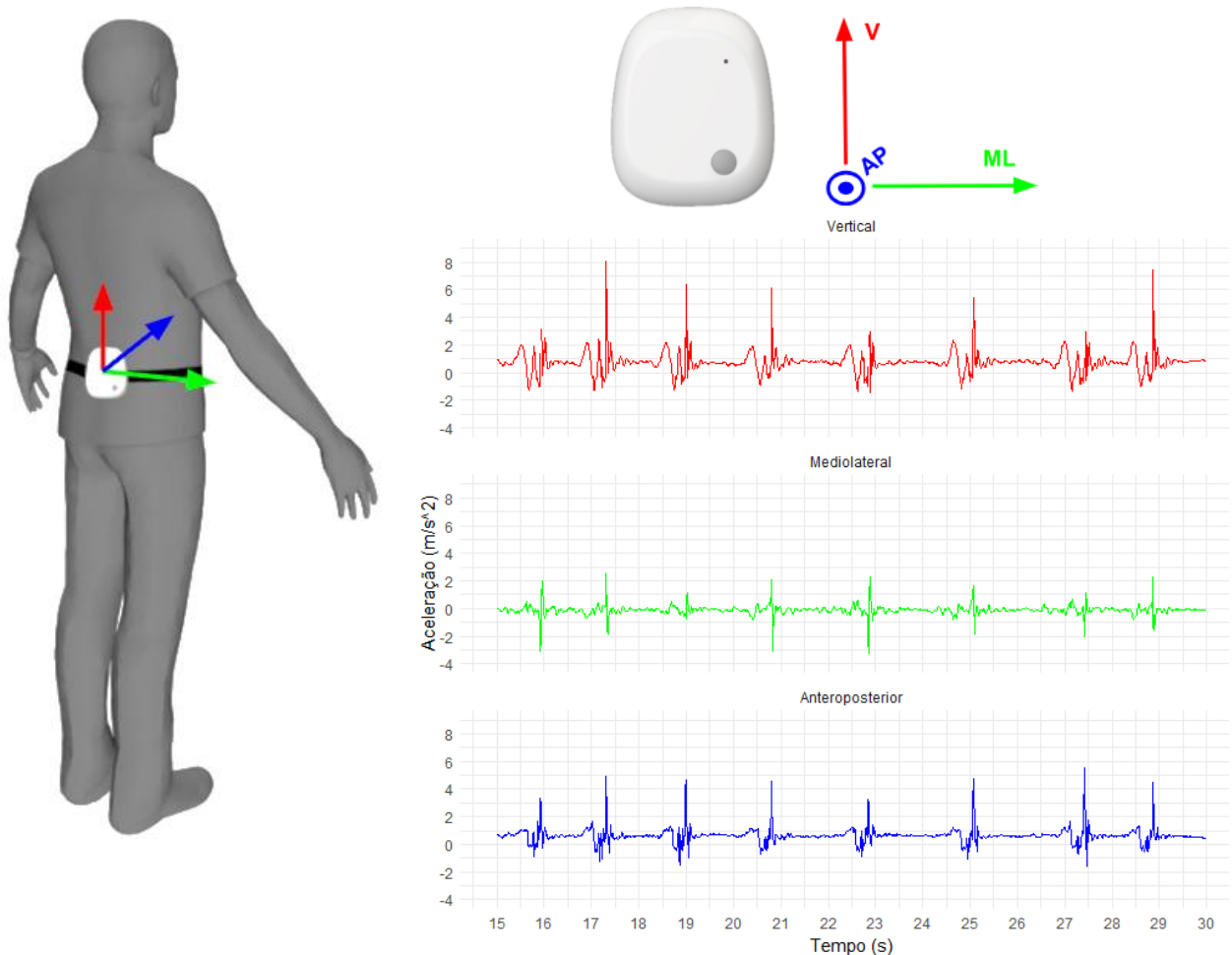
A coleta de dados acelerométricos foi realizada por meio de um sensor inercial triaxial do modelo MetaMotionRL – MMRL (MBIENTLAB), com dimensões de 27 mm × 27 mm × 4 mm, conforme ilustrado na Figura 4. O sensor foi posicionado na região lombar dos participantes, aproximadamente sobre a quinta vértebra lombar (L5), utilizando uma cinta elástica ajustável, de modo a garantir a fixação segura e minimizar interferências durante os movimentos.

Antes da realização do protocolo de saltos, os participantes passaram por uma etapa de familiarização com o teste. Após essa fase, iniciou-se a preparação do dispositivo para a aquisição dos dados de aceleração linear. A configuração foi realizada por meio do aplicativo MetaBase (iOS), com definição de faixa de leitura de  $\pm 16$  Gs e taxa de amostragem de 100 Hz.

Para cada tentativa, foi realizada inicialmente uma aquisição estática de 5 segundos com o participante em posição ortostática, a fim de registrar uma linha basal dos sinais de aceleração. Em seguida, os participantes executaram a tarefa de saltos conforme o protocolo previamente estabelecido. Ao término de cada tentativa, os dados registrados foram exportados diretamente do aplicativo MetaBase (iOS) em

formato '.csv' para posterior análise que considerou a tentativa na qual o participante obteve a maior pontuação, representando, assim, seu melhor desempenho.

Figura 4 – Ilustração do sensor, orientação dos eixos, posicionamento e visualização do sinal durante o teste de saltos laterais



Fonte: Reproduzido e adaptado de <https://www.3dcadbrowser.com/3d-model/generic-male>.  
 Legenda: Sensor inercial vestível capta aceleração linear nos eixos vertical (vermelho), mediolateral (verde) e anteroposterior (azul) durante 1 tentativa válida de saltos laterais de 15 segundos de um voluntário do grupo SD (8 saltos).

#### 4.5 Processamento de sinal

O fluxo de processamento dos dados foi estruturado em duas etapas: (1) recorte do sinal, que foi submetido a um recorte automatizado, implementado na linguagem R, com base em critérios temporais e estatísticos; (2) extração de métricas estatísticas no domínio do tempo a partir do sinal recortado.

Embora tenham sido testadas, de forma exploratória, diferentes configurações de filtragem utilizando filtros *Butterworth* de ordens e frequências de corte variadas, optou-se por não aplicar filtragem ao sinal, a fim garantir a integridade dos dados

originais e permitir que a variabilidade natural do movimento fosse refletida nas métricas extraídas. Dessa forma, todas as análises subsequentes foram realizadas a partir do sinal bruto, preservando a dinâmica natural das oscilações de aceleração.

Em seguida, os dados foram submetidos à análise estatística utilizando o modelo de Random Forest, Análise de Componentes Principais (*Principal Component Analysis* – PCA) e Agrupamento Hierárquico sobre Componentes Principais (*Hierarchical Clustering on Principal Components* – HCPC).

#### 4.5.1 Recorte do sinal

Foi considerado um intervalo basal entre 2 e 5 segundos após o início da coleta, utilizado para o cálculo da média e do desvio padrão da aceleração no eixo vertical. A partir desses parâmetros, estabeleceu-se um limiar de corte equivalente a seis vezes o desvio padrão abaixo da média basal.

Portanto, o início da tarefa foi identificado quando o algoritmo detectou, de forma contínua, pelo menos 15 amostras consecutivas abaixo do limiar, retrocedendo três posições para garantir a inclusão do instante inicial do movimento. A partir desse ponto, foi extraído um segmento contínuo de 15 segundos de dados, com o objetivo de isolar o período correspondente à execução da tarefa e assegurar a padronização das análises.

#### 4.5.2 Extração de métricas

A extração das métricas foi realizada na linguagem R (versão 4.4.1), utilizando o ambiente RStudio. Foram computadas estatísticas descritivas e não-lineares a partir dos dados de aceleração, com o objetivo de caracterizar a dinâmica do movimento nos diferentes eixos. As métricas extraídas incluíram: média, desvio padrão, raiz do quadrado médio (RMS), amplitude, assimetria, curtose, entropia, entropia aproximada e entropia amostral.

Além dessas, foram incorporadas três métricas adicionais por meio do pacote *tsfeatures*, que fornece métodos para extrair vários recursos de dados de séries temporais. A métrica *crossing points* refere-se ao número de vezes que a série temporal cruza a sua mediana; *lumpiness* representa a variabilidade da variância em janelas não sobrepostas ao longo da série; e *flat spots* corresponde à maior sequência contínua de valores dentro de um mesmo intervalo, considerando a divisão do espaço amostral da série em dez faixas de amplitude iguais.

As métricas foram calculadas separadamente para cada um dos três eixos de aceleração — vertical (V), mediolateral (ML) e anteroposterior (AP) — totalizando 39 variáveis. As funções utilizadas para essa extração estão apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2 – Métricas extraídas do sinal de aceleração linear

<b>Métricas</b>	<b>Definição</b>	<b>Função no R</b>
Média	Valor médio de aceleração linear.	mean(x) <sup>a</sup>
Desvio Padrão	Desvio padrão do sinal de aceleração linear.	sd(x) <sup>a</sup>
RMS	Estimativa da magnitude global do sinal, refletindo a energia do movimento.	sqrt(x <sup>2</sup> ) <sup>a</sup>
Amplitude	Diferença entre os valores máximo e mínimo da aceleração.	max(x) - min(x) <sup>a</sup>
Assimetria	Mede a inclinação da distribuição dos dados, indicando possíveis assimetrias no movimento.	skewness(x) <sup>b</sup>
Curtose	Indica a concentração dos valores da aceleração em torno da média, o que mostra a presença de picos na distribuição.	kurtosis(x) <sup>b</sup>
Entropia da Amostra	Avalia a imprevisibilidade do sinal; valores mais elevados indicam maior variabilidade.	sample_entropy(x) <sup>c</sup>
<i>Cross Points</i>	Quantifica a frequência com que o sinal cruza sua linha mediana, o que sugere mudanças de direção.	crossing_points(x) <sup>#</sup>
<i>Lumpiness</i>	Mede a variabilidade da variância em diferentes segmentos da série temporal. Valores elevados sugerem mudanças abruptas no comportamento da aceleração.	lumpiness(x) <sup>#</sup>
<i>Flat Spots</i>	Quantifica regiões com pouca variação na série temporal, que indica momentos de estabilidade.	flat_spots(x) <sup>#</sup>

Legenda: x = conjunto de dados. Os pacotes utilizados para cada função estão a seguir: <sup>a</sup>{R base}; <sup>b</sup>{PerformanceAnalytics}; <sup>c</sup>{pracma}; <sup>#</sup>{tsfeatures}. O processo foi repetido para cada eixo.

As métricas extraídas foram organizadas de forma estruturada em planilhas do Excel, separadas por eixo de aceleração e tipo de variável. Esses dados constituíram a base para a realização das análises estatísticas apresentadas na próxima seção, com o objetivo de identificar padrões e diferenças relevantes entre os grupos avaliados.

#### 4.6 Análise estatística

Todas as análises estatísticas foram conduzidas no R (versão 4.4.1). Para avaliar a capacidade discriminativa das variáveis extraídas, foi empregada uma abordagem integrada, combinando Random Forest, PCA e HCPC. Para identificar as métricas com maior poder discriminatório entre os grupos, implementou-se um modelo Random Forest através da função `randomForest()`, considerando a variável "grupo" como desfecho e todas as 39 métricas disponíveis como preditoras. O modelo permitiu ranquear as variáveis pela sua importância na classificação. O modelo foi configurado com 1000 árvores para garantir maior estabilidade. A importância de cada variável foi quantificada pelo índice *Mean Decrease Gini* (MDG), e para assegurar maior relevância preditiva minimizando redundâncias, foram selecionadas para a análise subsequente apenas as métricas com valor de MDG igual ou superior a 1.

Para avaliar a magnitude das diferenças entre os grupos, adotou-se a abordagem da estatística de estimativa, priorizando o uso de medidas de tamanho de efeito em detrimento da mera significância estatística (Claridge-Chang; Assam, 2016). Foi calculado o coeficiente de Hedges' *g*, uma estimativa robusta que corrige o viés em amostras pequenas, fornecendo uma medida padronizada da diferença entre grupos.

As análises foram realizadas com o pacote *dabestr* (Ho *et al.*, 2019), utilizando a função `hedges_g()`, que também estima intervalos de confiança por meio de reamostragem *bootstrap*. Efeitos foram considerados estatisticamente relevantes quando os intervalos de confiança de 95% não incluíam o valor zero. Essa abordagem está alinhada às recomendações contemporâneas de reportar estimativas com seus respectivos intervalos, promovendo interpretações mais informadas sobre a magnitude e a precisão das diferenças observadas.

Em seguida, conduziu-se uma PCA com as métricas selecionadas pela Random Forest para reduzir a dimensionalidade dos dados e investigar padrões multivariados do sinal de aceleração. A análise foi implementada pela função `PCA()` do pacote *FactoMineR*, incluindo a variável categórica 'grupo' como suplementar qualitativa (via argumento `quali.sup`). Esta abordagem permitiu visualizar a associação dos grupos no espaço fatorial, sem que esta influenciasse a construção dos componentes principais.

A seleção dos componentes principais foi baseada nos autovalores e na variância explicada, o que resultou na manutenção das duas primeiras dimensões. A

adequação dos dados à PCA foi verificada por meio do índice de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO = 0,70), considerado mediano, e pelo teste de esfericidade de Bartlett ( $\chi^2 = 566,88$ ;  $p < 0,001$ ), que indicou a presença de correlações suficientes entre as variáveis para proceder com a análise.

A distribuição das observações no espaço fatorial foi visualizada por meio do gráfico de componentes principais, com pontos representando os indivíduos e cores diferenciando os grupos. Foram traçadas as elipses de confiança de 95%, baseadas na distribuição t de Hotelling, que leva em conta a variabilidade interna do grupo e o tamanho da amostra. Esta abordagem é particularmente robusta para amostras pequenas, fornecendo estimativas de dispersão mais confiáveis em comparação com métodos que assumem normalidade multivariada. Os centroides de cada grupo foram calculados a partir das médias das coordenadas nos dois primeiros eixos. Dessa forma, as elipses possibilitaram inspecionar visualmente a dispersão interna de cada grupo e avaliar o grau de separação entre eles.

Posteriormente, com base nas coordenadas geradas pela PCA, foi aplicado o método de HCPC, por meio da função HCPC () do pacote *FactoMineR*. A classificação hierárquica ascendente foi conduzida pelo método de Ward, e o número ótimo de clusters foi definido a partir da variação da inércia entre fusões sucessivas. A partição final foi consolidada pelo algoritmo *k-means*, conforme o procedimento padrão do HCPC. Essa abordagem complementou a PCA, permitindo identificar agrupamentos homogêneos entre os indivíduos e visualizar sua distribuição no espaço fatorial, de forma consistente com a estrutura de variância dos dados.

## 5 RESULTADOS

### 5.1 Características antropométricas e desempenho motor

Os grupos foram pareados por idade e sexo, mas divergiram em medidas antropométricas específicas (Tabela 1). O grupo SD apresentou valores inferiores para massa corporal, estatura e comprimento da perna em comparação ao grupo sem-SD ( $p < 0,05$ ), enquanto o IMC não diferiu significativamente. No teste de saltos laterais, a contagem média de saltos foi três vezes menor no grupo SD, com uma magnitude de efeito classificada como muito grande (Hedges'  $g = 6,30$ ;  $p < 0,001$ ). Esses resultados corroboram a influência da SD na morfologia e no desempenho motor.

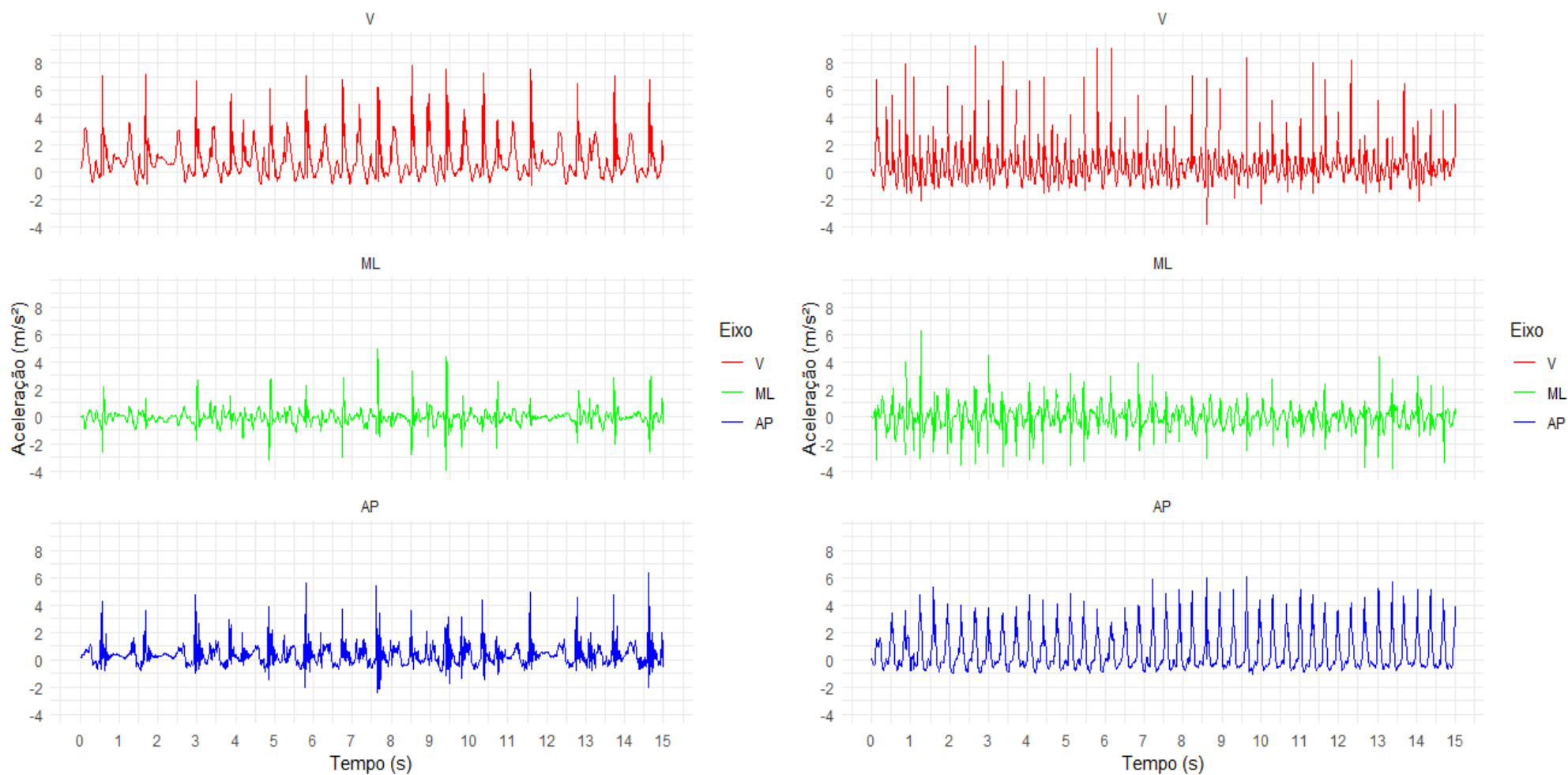
Tabela 1 – Características antropométricas e tamanho de efeito das diferenças entre os grupos participantes do estudo (SD e sem-SD)

	SD	sem-SD	Valor-p	Hedges' g
Idade (anos)	25,7 ± 5,5 (23,2; 28,1)	25,6 ± 4,8 (23,4; 27,8)	0,98	-0,009 (-0,61; 0,60)
Massa (kg)	62,0 ± 11,1 (56,9; 67,0)	71,74 ± 15,4 (64,7; 78,7)	0,02*	0,71 (0,08; 1,33)
Estatura (m)	1,48 ± 0,1 (1,43; 1,52)	1,66 ± 0,8 (1,63; 1,70)	< 0,001*	2,11 (1,34; 2,86)
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	28,25 ± 4,5 (26,2; 30,3)	25,8 ± 4,6 (23,8; 27,9)	0,10	-0,52 (-1,13; 0,10)
C. Perna (cm)	78,5 ± 5,1 (76,2; 80,8)	89,0 ± 4,6 (86,9; 91,1)	< 0,001*	2,11 (1,34; 2,87)
Saltos (n)	10,1 ± 3,1 (8,7; 11,5)	34,0 ± 4,3 (32,1; 35,9)	< 0,001*	6,30 (4,79; 7,80)

Legenda: Os grupos foram formados por 9 mulheres e 12 homens cada. Os dados são expressos em média, desvio-padrão e, entre parênteses, intervalo de confiança de 95%. O Hedges' g representa a magnitude de efeito entre os grupos. SD: grupo com síndrome de Down; sem-SD: grupo sem SD; F: sexo feminino; M: sexo masculino; IC 95%: intervalo de confiança de 95%; IMC: índice de massa corporal; C. Perna: comprimento da perna. O valor de p foi calculado apenas para fins de legado. \*Denota diferença significativa entre os dois grupos.

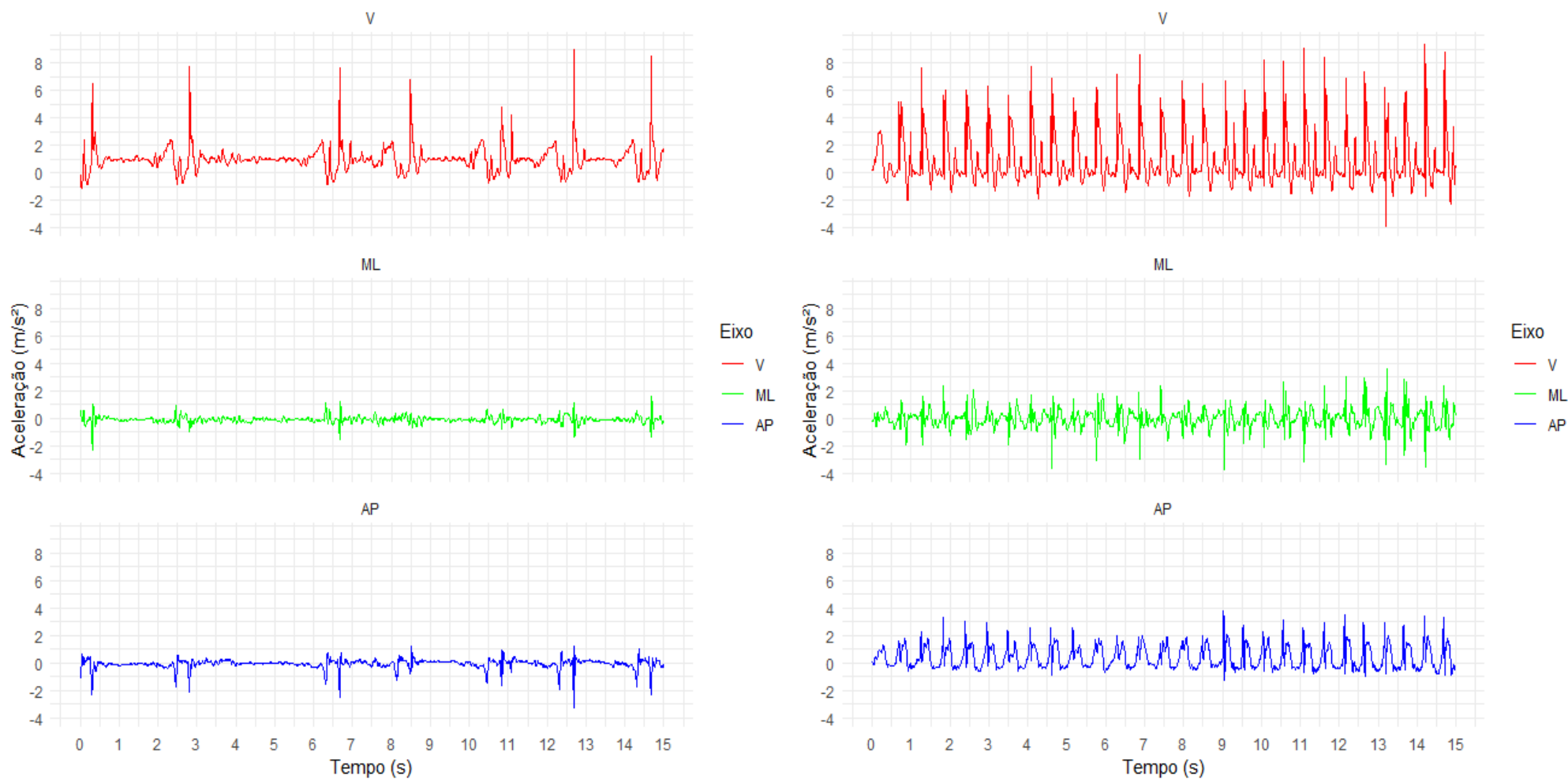
Para facilitar a visualização das diferenças nos padrões de aceleração entre os grupos, as Figura 5 e 6 apresentam os sinais triaxiais registrados durante a execução da tarefa de saltos laterais. Os dados ilustram os voluntários que obtiveram, respectivamente, o maior e o menor número de saltos em seus grupos, sendo selecionados com o objetivo demonstrar visualmente suas principais características.

Figura 5 – Sinais de aceleração triaxial dos voluntários com maior número de saltos laterais do grupo SD (à esquerda) e sem-SD (à direita)



Legenda: À esquerda, sinal correspondente ao voluntário do grupo SD. À direita, sinal do voluntário do grupo sem-SD. Observa-se a variação da aceleração ( $m/s^2$ ) nos eixos vertical (V), mediolateral (ML) e anteroposterior (AP) durante o tempo total da tarefa (15 s).

Figura 6 – Sinais de aceleração triaxial dos voluntários com menor número de saltos laterais do grupo SD (à esquerda) e sem-SD (à direita)



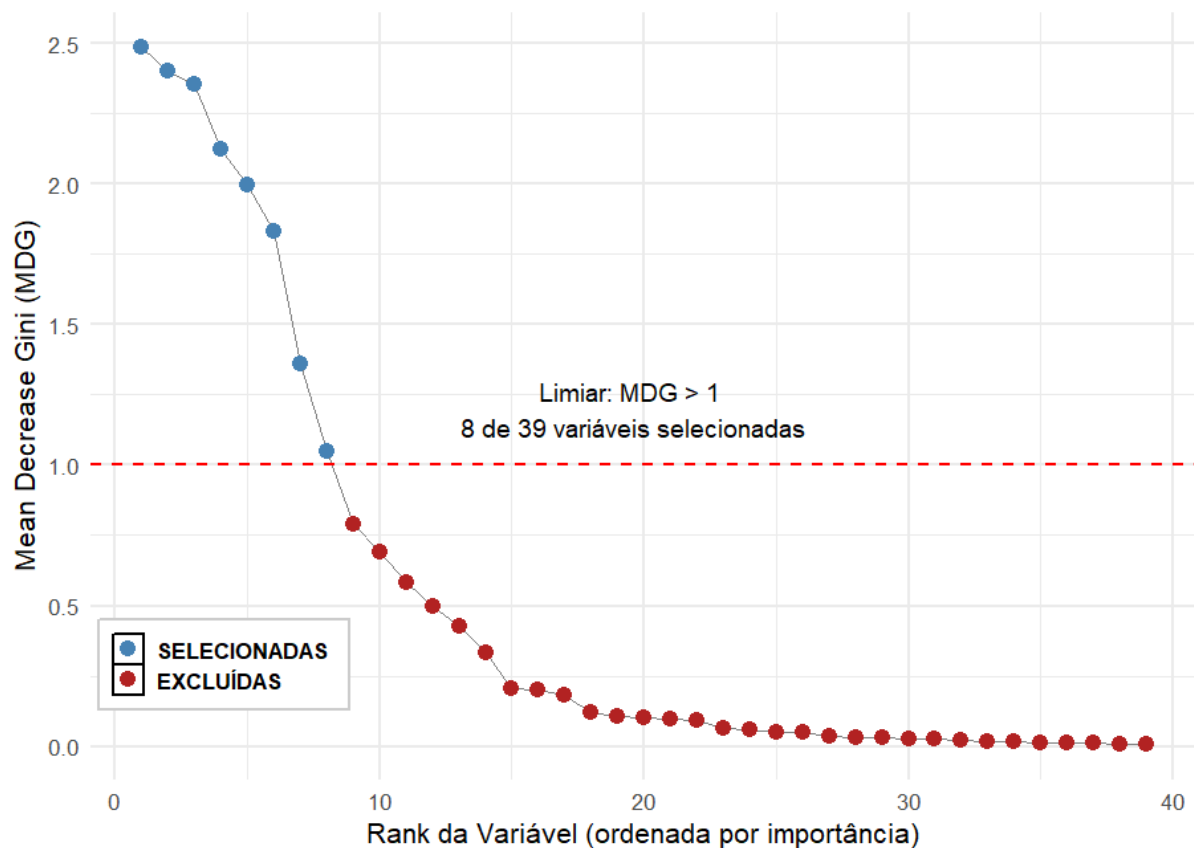
Legenda: À esquerda, sinal correspondente ao voluntário do grupo SD. À direita, sinal do voluntário do grupo sem-SD. Observa-se a variação da aceleração ( $m/s^2$ ) nos eixos vertical (V), mediolateral (ML) e anteroposterior (AP) durante o tempo total da tarefa (15 s).

A partir da inspeção visual, foi possível identificar aspectos como a regularidade dos ciclos de salto e a amplitude da aceleração nos diferentes eixos. No grupo com SD, os valores extremos foram de 16 e 7 saltos; no grupo sem-SD, 42 e 27 saltos, respectivamente. Com base nessas observações, foram extraídas métricas quantitativas e aplicado o modelo de Random Forest, com o intuito de identificar os parâmetros com maior poder discriminativo entre os grupos.

## 5.2 Análise por Random Forest

O modelo de Random Forest classificou 8 de 39 métricas com maior poder discriminativo ( $MDG \geq 1$ ) entre os grupos (Figura 7). A Tabela 2 detalha quantitativamente essa seleção, apresentando para cada variável os valores de importância específicos por classe (SD e sem-SD) e os índices de pureza (MDG) que fundamentaram o critério de seleção.

Figura 7 – Seleção de métricas ranqueadas por importância (MGD >1)



Legenda: Distribuição da importância das métricas ordenadas pelo MDG. As variáveis selecionadas (azul) apresentam  $MDG > 1$ , enquanto as excluídas (vermelho) possuem importância inferior a este limiar. Foram selecionadas 8 de 39 variáveis para as análises subsequentes.

Tabela 2 - Medidas de importância das variáveis pelo modelo de Random Forest

	SD	sem-SD	MDG
Lumpiness ML	11,097	11,854	2,483
Flat Spots ML	12,157	11,842	2,399
RMS V	10,905	10,869	2,351
Curtose AP	10,741	10,261	2,125
Desvio Padrão V	10,455	9,678	1,995
Flat Spots AP	10,004	9,825	1,832
Lumpiness AP	7,949	8,856	1,358
Curtose ML	7,054	5,933	1,050

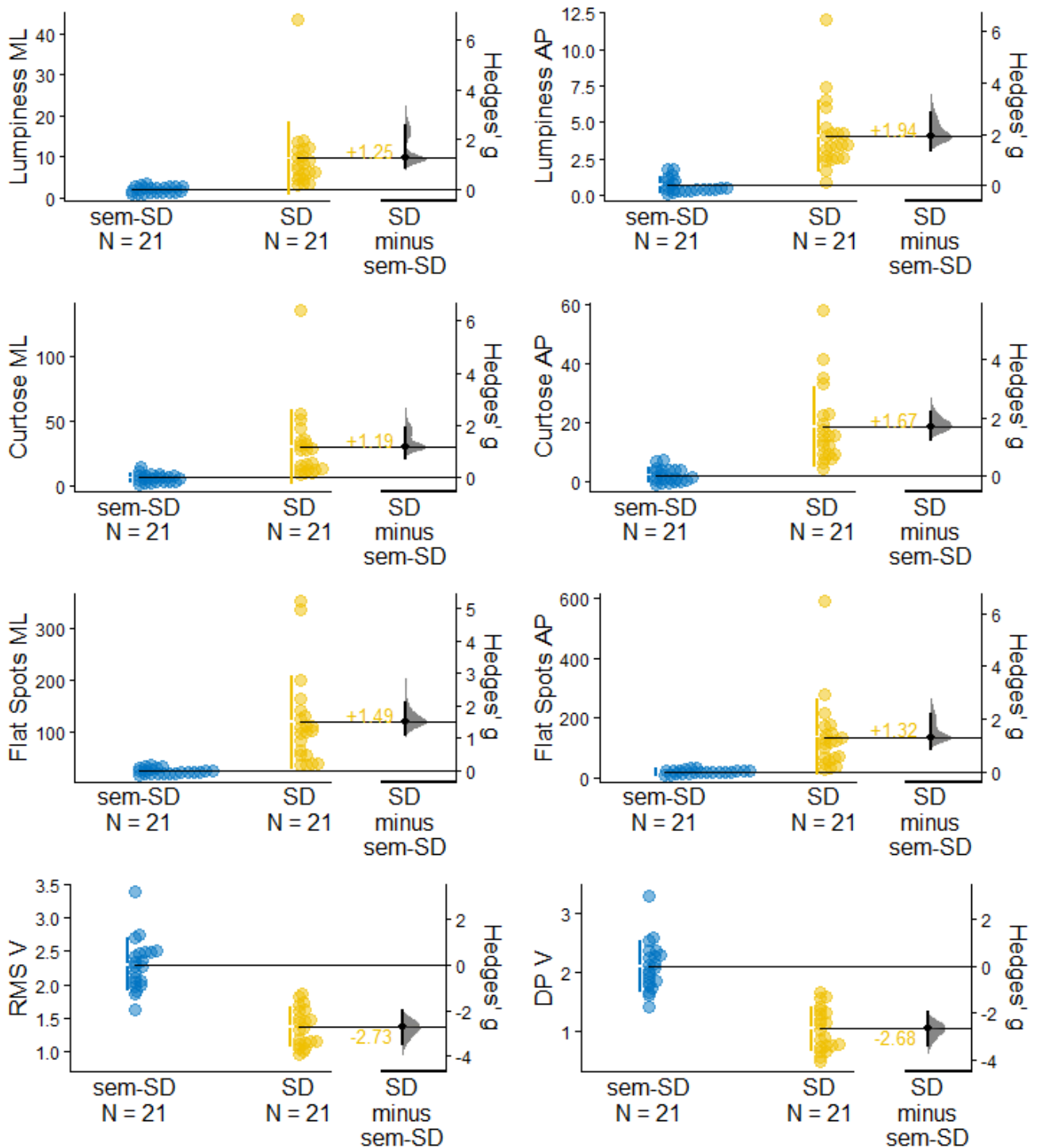
Legenda: A tabela apresenta a importância relativa de cada variável para o modelo, no qual valores mais altos indicam maior importância preditiva na discriminação dos grupos. SD: grupo com síndrome de down; sem-SD: grupo sem síndrome de down; MDG: mean decrease Gini. ML: eixo mediolateral; AP: eixo anteroposterior; V: eixo vertical.

### 5.3 Tamanhos de efeito das métricas discriminantes entre os grupos

As métricas pré-selecionadas pelo modelo Random Forest demonstraram diferenças consistentes entre os grupos, conforme ilustrado na Figura 8, que apresentam os tamanhos de efeito (Hedges'  $g$ ) com intervalos de confiança de 95% obtidos por *bootstrap*. Em geral, as métricas dos eixos mediolateral e anteroposterior exibiram efeitos positivos e de grande magnitude — que indica valores mais elevados no grupo SD —, enquanto as do eixo vertical mostraram efeitos negativos expressivos, refletindo maiores médias no grupo sem-SD.

No eixo mediolateral (ML), destacaram-se as métricas Lumpiness ( $g = 1,25$ ; IC 95% [0,85 a 2,52]), Curtose ( $g = 1,19$ ; IC 95% [0,76 a 1,91]) e Flat Spots ( $g = 1,49$ ; IC 95% [1,09 a 2,07]), indicando diferenças substanciais entre os grupos nesse plano de movimento. De forma semelhante, no eixo anteroposterior (AP), observaram-se efeitos de magnitude elevada nas métricas Lumpiness ( $g = 1,93$ ; IC 95% [1,33 a 2,80]), Curtose ( $g = 1,67$ ; IC 95% [1,22 a 2,16]) e Flat Spots ( $g = 1,32$ ; IC 95% [0,88 a 2,18]). Esses resultados sugerem que as oscilações e irregularidades do sinal neste eixo também contribuíram de maneira importante para a diferenciação entre os grupos.

Em contraste, no eixo vertical (V), as métricas analisadas apresentaram efeitos negativos de grande magnitude RMS V ( $g = -2,73$ ; IC 95% [-3,48 a -2,00]) e Desvio Padrão V ( $g = -2,67$ ; IC 95% [-3,41 a -1,99]). Esses resultados sugerem uma menor variabilidade ou intensidade de movimento no eixo vertical em um dos grupos.

Figura 8 – Tamanho de efeito  $g$  de Hedges das métricas predictoras de grupo

Legenda: Diferenças nas métricas temporais de aceleração entre indivíduos com SD (amarelo) e sem-SD (azul). Cada painel representa uma métrica. Os pontos indicam valores individuais e as barras laterais em preto mostram o tamanho de efeito padronizado (Hedges'  $g$ ) com respectivos intervalos de confiança de 95%, estimados por bootstrap. À direita de cada painel, a distribuição em forma de *violin plot* (cinza) representa a estimativa da diferença média entre os grupos e a incerteza associada a essa diferença.

#### 5.4 Análise Multivariada: PCA e HCPC

A análise revelou uma estrutura dimensional bem definida nos dados, o que permitiu uma redução significativa da dimensionalidade. Os dois primeiros componentes da PCA capturaram 85,03% da variância total dos dados, com o PC1 respondendo por 69,87% e o PC2 por 15,16% dessa variabilidade. A escolha de dois componentes foi sustentada pelos autovalores acima de 1, indicando que apenas esses eixos apresentavam variância explicada acima da média.

O PC1 apresentou correlações elevadas com parâmetros analisados (Tabela 3), sendo negativas para os indicadores de estabilidade vertical e positivas para os índices de irregularidade e curtose nos eixos mediolateral e anteroposterior. Essa configuração revela um eixo de variação que opõe controle postural vertical a oscilações mediolaterais e anteroposteriores.

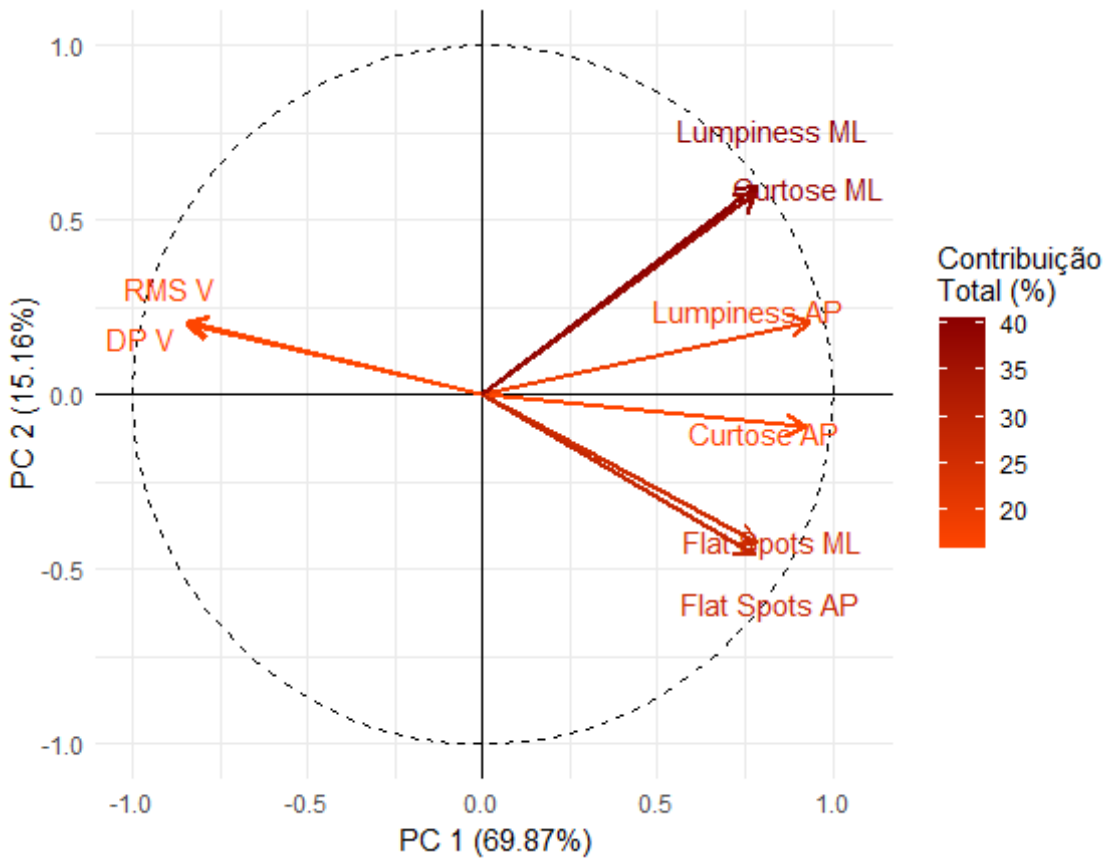
Tabela 3 – *Loadings* (pesos) das variáveis

	Dim.1	Dim.2
Lumpiness AP	0,93	
Curtose AP	0,92	
Desvio Padrão V	-0,84	
RMS V	-0,84	
Flat Spots ML	0,79	-0,43
Lumpiness ML	0,79	0,60
Curtose ML	0,78	0,58
Flat Spots AP	0,78	-0,46

Legenda: Contribuição das métricas nas dimensões da análise de componentes principais. Nenhum método de rotação foi aplicado. Dim.1: dimensão 1, Dim.2: dimensão 2.

Na PCA aplicada às métricas extraídas do sinal de aceleração (Figura 9), observou-se uma clara estrutura bipolar no PC1. As métricas de variabilidade agrupam-se no polo positivo, exibindo correlações positivas entre si, como indicado pelo pequeno ângulo entre seus vetores. Em contraste, os indicadores de estabilidade vertical (RMS V, Desvio Padrão V) concentraram-se no polo negativo, demonstrando correlação negativa com as métricas de variabilidade lateral e anteroposterior.

Figura 9 – PCA e contribuição total das métricas

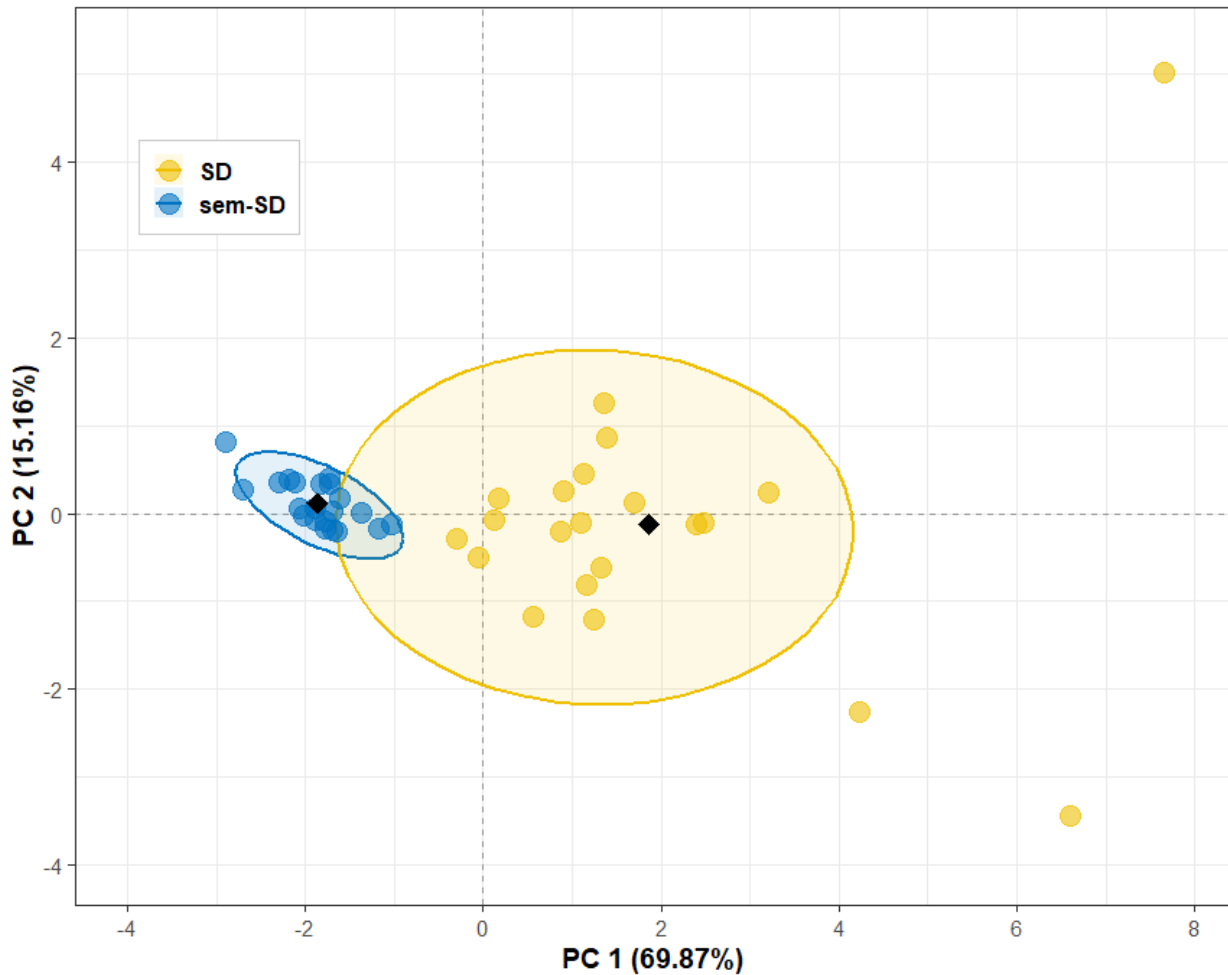


Legenda: Os vetores indicam a correlação de cada métrica com os componentes principais. O comprimento representa a força da correlação, e as cores mostram a contribuição total de cada variável para explicar a variabilidade nas duas primeiras componentes (85,03% da variância total). O círculo pontilhado representa a correlação máxima possível ( $r = 1$ ).

Nesta representação, o comprimento dos vetores indica a qualidade de representação das variáveis no plano fatorial, isto é, quanto mais próximo do círculo de correlação, maior sua associação com os componentes principais. Além disso, coloração reflete a contribuição relativa de cada métrica para a construção das duas dimensões principais.

Com base nessa estrutura dimensional, analisou-se a distribuição dos participantes no espaço fatorial (Figura 10). A figura apresenta a projeção bidimensional das duas primeiras componentes principais, com os indivíduos agrupados segundo a variável “grupo”. As elipses representam a concentração de 95% de confiança, calculadas a partir da média das coordenadas de cada grupo, permitindo visualizar a variabilidade interna, a organização espacial e a separação dos padrões motores derivados das métricas de aceleração.

Figura 10 – PCA dos indivíduos com elipses de confiança 95%



Legenda: Representação bidimensional dos participantes nas duas primeiras componentes principais (PC1 e PC2), explicando juntas 85,03% da variância total. Cada ponto representa um indivíduo, com cores indicando os grupos: SD (amarelo) e sem-SD (azul). As elipses delimitam as regiões de concentração de 95% de confiança para cada grupo, e os losangos pretos indicam os centroides, evidenciando a separação espacial entre os grupos no espaço fatorial. Área da elipse sem-SD: 1,89  $u^2$ ; SD: 70,2  $u^2$ .

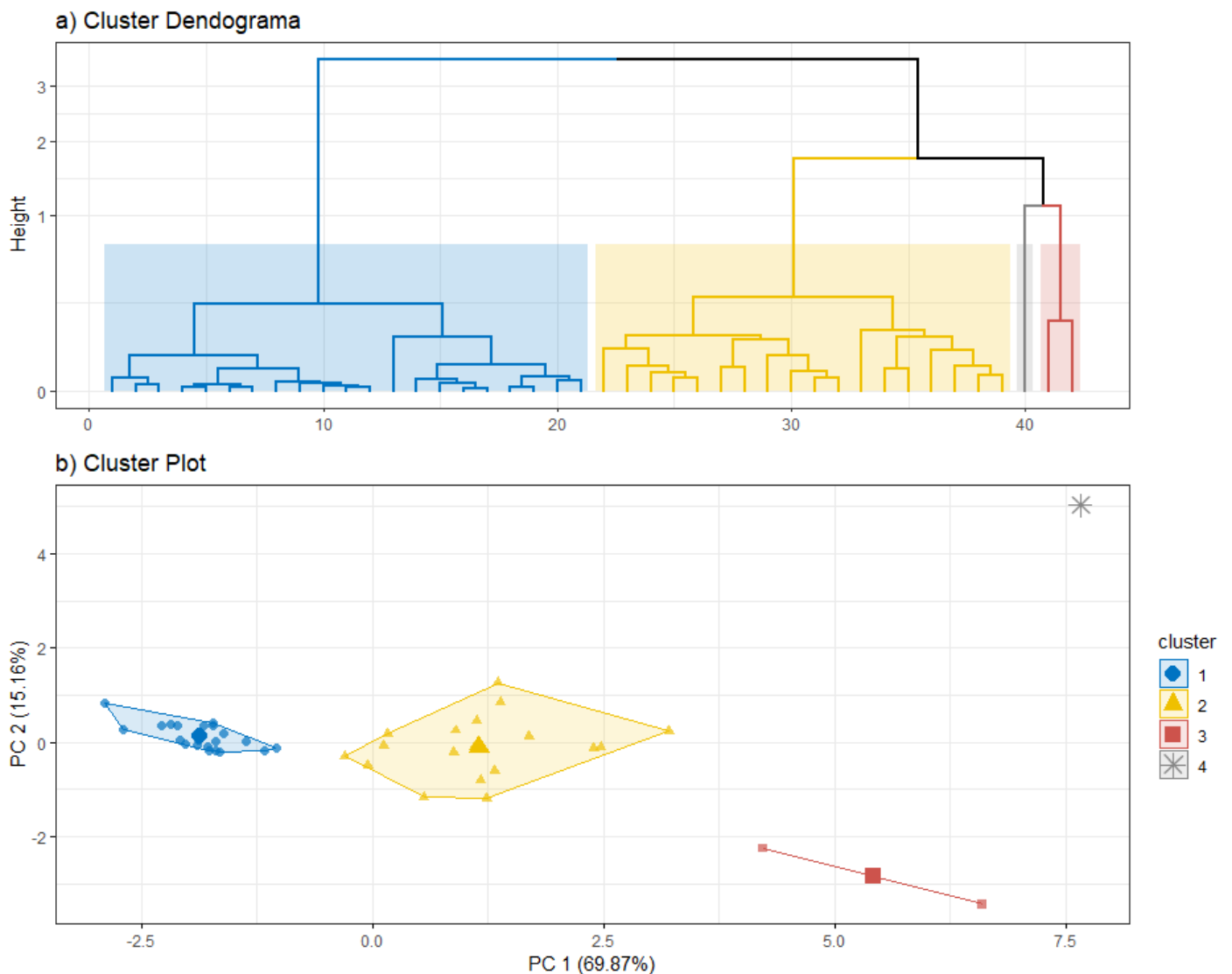
Observa-se que o grupo sem-SD (pontos azuis) concentrou-se na região associada à maior estabilidade no eixo vertical (valores negativos de PC 1), enquanto os adultos com SD (pontos amarelos) predominaram na área correspondente à maior variabilidade lateral e anteroposterior (valores positivos de PC 1). Essa separação ao longo do primeiro componente principal reforça as distinções nos padrões de oscilação identificadas entre os grupos e evidencia a sensibilidade das métricas extraídas para capturar essas diferenças.

Para preservar essa representação global dos dados, optou-se por manter todos os participantes na análise, incluindo aqueles classificados como outliers. Essa decisão deve-se ao fato de que tais valores refletem a variabilidade natural observada dentro de cada grupo e contribuem para uma compreensão mais abrangente da

dispersão e heterogeneidade da amostra. Dessa forma, as elipses de confiança de 95% representam de forma mais fidedigna a distribuição total dos indivíduos no espaço fatorial.

Com base na estrutura dimensional identificada pela PCA, realizou-se a análise de HCPC para investigar a organização interna dos participantes a partir das métricas selecionadas. O método de Ward identificou quatro agrupamentos distintos, definidos a partir do ponto de inflexão na variação da inércia entre as fusões sucessivas (Figura 11).

Figura 11 – Representação dos agrupamentos obtidos pela Análise Hierárquica de Componentes Principais (HCPC).



Legenda: (a) Dendrograma obtido pela análise hierárquica ascendente utilizando o método de Ward, aplicada às dimensões da PCA. As cores indicam os clusters definidos automaticamente pelo critério de inércia. (b) Mapa fatorial dos indivíduos, que mostra a distribuição dos clusters no espaço multivariado. As cores indicam os agrupamentos identificados pela HCPC; as elipses delimitam as regiões convexas de cada grupo, e os centroides são representados por símbolos maiores.

No dendrograma (Figura 11a), observa-se uma clara separação entre dois grandes ramos principais que coincide com a divisão entre os grupos. A altura das fusões revela que a distância entre esses dois conjuntos é substancialmente maior do que entre os agrupamentos internos, indicando maior heterogeneidade intergrupos do que intragrupos.

O mapa fatorial (Figura 11b) mostra que os clusters 1 e 2 concentram, respectivamente, os participantes dos grupos sem-SD e SD, reproduzindo a separação visual já evidenciada na PCA. Nota-se que os indivíduos sem SD apresentam uma distribuição mais homogênea, formando um cluster compacto e bem definido. Em contraste, os clusters 3 e 4, também compostos por participantes com SD, reúnem padrões atípicos mesmo dentro do próprio grupo, indicando maior variabilidade individual e possíveis diferenças em aspectos específicos do desempenho motor.

Em síntese, a combinação entre a PCA e a HCPC revelou uma organização clara entre os participantes, a estrutura formada indica que as métricas utilizadas foram sensíveis para discriminar grupos com diferentes características motoras, permitindo distinguir padrões típicos e atípicos de desempenho. Além disso, a maior amplitude da elipse de confiança e a dispersão mais ampla entre os indivíduos com SD reforçam essa distinção e revelam maior heterogeneidade intragrupo.

Esses resultados confirmam as diferenças nos padrões motores entre adultos com e sem SD, alinhando-se ao objetivo de identificar métricas capazes de discriminar os grupos e caracterizar sua variabilidade interna. Além disso, a estrutura dos clusters reforça a presença de perfis motores distintos, fornecendo uma base para interpretar a magnitude dessas diferenças e discutir, a seguir, os possíveis fatores que explicam tais variações no desempenho motor.

## 6 DISCUSSÃO

Os resultados deste estudo revelam os padrões motores triaxiais que são característicos em adultos com SD durante a execução de saltos laterais, demonstrando que as alterações motoras nesta população podem ser quantificadas com precisão por meio de acelerometria e análises multivariadas. A partir dessas análises, foram identificados três eixos de comprometimento que explicam o padrão coordenativo observado no desempenho dos saltos laterais do grupo SD: (1) instabilidade mediolateral, (2) compensações anteroposteriores, e (3) déficit no controle vertical.

### 6.1 Padrões motores na SD: características triaxiais

Os adultos com SD apresentaram padrões motores distintos durante os saltos laterais, quando comparado com seus pares, caracterizados por maior variabilidade nos eixos mediolateral e anteroposterior, bem como menor estabilidade no eixo vertical. A análise instrumental por meio do acelerômetro possibilitou a identificação de características de qualidade sobre o controle postural dinâmico, as quais não seriam captadas por indicadores convencionais de desempenho, revelando características da organização motora que ultrapassam a simples mensuração da quantidade de saltos realizados.

A maior irregularidade observada nos movimentos laterais no grupo com SD revela inconsistência entre os saltos e pode estar associada aos comprometimentos neuroanatômicos característicos da condição (Antonarakis *et al.*, 2020), particularmente nas estruturas cerebelares e no corpo caloso, que desempenham um papel crucial na coordenação intermembros e bilateral (Malak *et al.*, 2013). A hipoplasia nessas estruturas está diretamente relacionada às dificuldades em tarefas que exigem alternância rítmica e sincronização motora (Alesi *et al.*, 2018), fato que poderia explicar a variabilidade aumentada no eixo mediolateral observada em nossos resultados.

Além disso, as alterações cerebelares na SD não se limitam a comprometer a coordenação motora global, mas também influenciam diretamente o tônus muscular e o equilíbrio (Dupre; Weidman-Evans, 2017). Essa particularidade neurofuncional pode explicar a ocorrência dos períodos de pausa entre os saltos, decorrentes da dificuldade em sustentar um padrão consistente de aceleração e desaceleração durante movimentos consecutivos. A combinação desses fatores reforça a hipótese

de que as limitações dinâmicas na SD emergem de uma integração sensório-motora atípica (Brugnaró *et al.*, 2024), agravada pelas alterações estruturais em regiões neurais críticas para o controle postural (Hamadelseed; Skutella, 2023).

No eixo anteroposterior, o desempenho motor reduzido associou-se a uma distribuição de acelerações marcada por picos mais acentuados, indicando períodos de movimento abrupto e trechos de baixa variação que sugerem inclinações rápidas do tronco como estratégia compensatória de estabilização postural. Esses resultados indicam uma adaptação motora voltada à manutenção do equilíbrio, provavelmente em resposta à instabilidade lateral previamente identificada no grupo com SD. Essas estratégias adaptativas são clinicamente relevantes, pois os mecanismos compensatórios podem influenciar negativamente o equilíbrio, aumentar o risco de quedas e restringir a participação social (Jain *et al.*, 2022).

Do ponto de vista biomecânico, a instabilidade anteroposterior aqui apresentada converge com observações prévias que registraram picos acentuados de aceleração no mesmo eixo durante saltos frontais em adultos com SD (Quinzi *et al.*, 2021). Embora nosso protocolo experimental utilize saltos laterais, ambas as investigações demonstram semelhança nos padrões compensatórios de instabilidade de tronco. O aparecimento sistemático de mecanismos compensatórios, tanto no equilíbrio estático quanto em atividades dinâmicas (Jain *et al.*, 2022), ressalta a natureza generalizada das dificuldades de equilíbrio e coordenação motora na SD.

Em contraste com os resultados nos eixos mediolateral e anteroposterior, as métricas do eixo vertical apresentaram reduções significativas no grupo com SD. A menor magnitude das acelerações verticais pode refletir, em parte, a hipotonia muscular característica dessa população, que compromete a capacidade de gerar força propulsiva eficiente durante o salto. Reduções similares na força propulsiva já foram identificadas em crianças com SD e atribuídas à diminuição da força muscular e à rigidez articular (Koo *et al.*, 2022), o que sugere que esse padrão persiste na idade adulta como uma característica motora dessa população.

Esse perfil motor se caracteriza por movimentos menos abruptos no eixo vertical e por intervalos mais prolongados entre os saltos, o que demonstra menos eficiência do aproveitamento da energia. Em consonância com esse padrão, estudos que utilizaram o teste de saltito do TGMD (Quinzi *et al.*, 2021) e salto com ambas as pernas (Beerse; Wu, 2018) relataram que pessoas com SD tendem a saltar com maior rigidez vertical, resultando em tempos de voo mais curtos em comparação a indivíduos

sem SD. Esse padrão pode ser atribuído a alterações no processamento e na integração sensorio-motora, bem como a características neurofuncionais associadas à deficiência intelectual presente na síndrome de Down (Fernández-Blanco; Dierssen, 2020).

Essas limitações motoras, ao prejudicarem a capacidade de realizar ajustes rápidos e precisos, levam a um padrão de movimento mais cauteloso e com variabilidade reduzida. Esse comportamento parece representar uma estratégia adaptativa para compensar as demandas da tarefa motora. Nesse sentido, destaca-se a importante conexão entre padrões motores grossos e funcionamento cognitivo, uma vez que a execução de sequências motoras complexas exige não apenas o controle postural integrado à produção de força e manutenção do equilíbrio, mas também o processamento eficiente das informações sensoriais de maneira ágil (Alesi; Battaglia, 2019).

## 6.2 Variabilidade motora intragrupo na SD

Nosso estudo demonstrou que a análise triaxiais de saltos laterais permite discriminar padrões motores característicos de pessoas com e sem SD. A maior dispersão observada no grupo com SD — evidenciada pela elipse ampliada na Figura 10 — contrasta com a homogeneidade apresentada pelo grupo sem-SD. Esse resultado sugere dois aspectos importantes como a presença de variabilidade interindividual na adoção de estratégias motoras e a influência de fatores moduladores do desempenho na tarefa de saltos.

Além disso, a formação de três clusters distintos dentro do grupo com SD também indica uma variabilidade intragrupo mais acentuada. Embora esses agrupamentos possam inicialmente parecer valores discrepantes, sua manutenção na análise é pertinente, pois refletem diferenças individuais frequentemente relatadas nessa população. Assim, a presença desses clusters complementa a interpretação de que indivíduos com SD podem adotar estratégias motoras diversas para executar a mesma tarefa.

A heterogeneidade observada reforça que, mesmo compartilhando o mesmo diagnóstico, adultos com SD apresentam perfis motores distintos e utilizam diferentes estratégias para enfrentar a mesma demanda funcional. Essa variabilidade pode estar associada a níveis variados de alterações neuromusculares, como força e tônus

muscular, coordenação motora e à diversidade de experiências motoras acumuladas ao longo da vida.

Os déficits de força muscular e as alterações no processamento sensório-motor, frequentemente observados em indivíduos com SD (Brugnaró *et al.*, 2024), pode contribuir para padrões motores menos eficientes. Os déficits de força muscular e as alterações no processamento sensório-motor, frequentemente observados em indivíduos com SD (Melo *et al.*, 2022) — também podem afetar o desempenho motor. Tais fatores, contudo, não se manifestam de forma homogênea entre os indivíduos, o que ajuda a explicar a ampla variabilidade observada nos desempenhos dentro do próprio grupo.

A literatura indica que exercícios físicos, quando prescritos com controle rigoroso de intensidade, volume e duração, podem reduzir déficits motores associados à SD. Estudos reforçam que atividades aeróbicas, de equilíbrio, pliométricas e isométricas demonstram respostas favoráveis à função motora (Melo *et al.*, 2022). Entre essas modalidades, o treinamento resistido mostra maior consistência de resultados, sobretudo no aumento da massa muscular e na estabilidade do tronco e membros inferiores em adultos com SD (Iglesias-Díaz *et al.*, 2025).

Além disso, evidências sugerem que adultos com SD preservam a capacidade de aprendizagem motora, como demonstrado em intervenções de dez semanas de treinamento resistido, nas quais foram observadas melhorias na execução de habilidades complexas e no fortalecimento das interconexões neurais relacionadas ao controle motor (Post *et al.*, 2022). Nesse sentido, o desenvolvimento da força muscular constitui uma estratégia fundamental para favorecer a estabilidade articular (Post *et al.*, 2022) e, conseqüentemente, aprimorar o desempenho motor em tarefas funcionais.

Corroborando o exposto, uma meta-análise identificou que exercícios físicos produzem melhorias significativas no controle postural de indivíduos com SD (Zolghadr *et al.*, 2025). Esses benefícios são atribuídos, em grande parte, ao fortalecimento muscular e à estimulação sensório-motora proporcionados durante o treinamento, que favorecem respostas motoras mais estáveis diante de demandas que envolvem equilíbrio dinâmico e coordenação multissegmentar.

De maneira geral, a literatura aponta que a proficiência em habilidades como o salto pode ser aprimorada por meio de programas de treinamento de força. Além disso, níveis mais elevados de atividade física também estão associados a um melhor

desempenho motor em diferentes tarefas (Kirkland; Wadden; Ploughman, 2022). Considerando que o salto constitui uma habilidade motora determinante para a participação e permanência em práticas físicas e esportivas, a baixa exposição de pessoas com SD a programas estruturados de desenvolvimento motor pode comprometer a aquisição dessas habilidades (Quinzi *et al.*, 2022b), o que repercute diretamente nos padrões biomecânicos observados.

Nesse sentido, estudos indicam que indivíduos com SD fisicamente ativos tendem a apresentar desempenhos motores mais eficientes, incluindo estratégias de movimento mais adequadas (Alesi *et al.*, 2022). Assim, a variabilidade intragrupo evidenciada nas elipses no presente estudo pode refletir diferentes níveis de engajamento físico ao longo da vida, os quais influenciam diretamente os padrões motores expressos durante a tarefa.

Esse cenário reforça um ciclo negativo no qual a baixa proficiência motora limita a participação em atividades físicas, o que, por consequência, reduz as oportunidades de desenvolvimento motor e compromete a ampliação do repertório de movimento. Isso destaca a importância de intervenções precoces e contínuas, que promovam o fortalecimento muscular e estimulem a diversidade de experiências motoras, com atenção às particularidades funcionais de indivíduos adultos com SD.

Por fim, a análise por acelerometria na tarefa de saltos laterais representa um diferencial clínico e metodológico do presente estudo. Essa abordagem permite mensurar não apenas o “quanto” (número de saltos), mas também a “qualidade” do movimento. Ao decompor os sinais nos eixos vertical, mediolateral e anteroposterior, ela revela ajustes e compensações que não são facilmente detectáveis pela observação visual, fornecendo métricas mais sensíveis para caracterizar o controle motor em tarefas de equilíbrio dinâmico, como os saltos laterais.

## 7 FORÇAS E LIMITAÇÕES

Os parâmetros identificados neste estudo permitem avaliar, de forma objetiva, o desempenho individual e detectar alterações motoras sutis em adultos com SD. A utilização da análise triaxial ampliou a compreensão das componentes do movimento, permitindo identificar particularidades da execução que não seriam captadas por métricas convencionais baseadas apenas na contagem de repetições. Esse nível de detalhamento favorece o delineamento de intervenções ajustadas às necessidades específicas de cada indivíduo.

Nesse sentido, dados extraídos da análise triaxial também podem orientar o planejamento de intervenções motoras. Instabilidades no eixo mediolateral, por exemplo, podem indicar a necessidade de atividades voltadas à lateralidade e ao controle postural nesse plano. Já os déficits no eixo anteroposterior podem ser abordados com exercícios envolvendo deslocamentos frontais e posteriores, enquanto limitações na direção vertical podem justificar o uso de atividades de salto para aprimorar força e impulsão.

Apesar dessas contribuições, algumas limitações devem ser consideradas. A amostra foi composta exclusivamente por adultos jovens, o que restringe a generalização dos achados para outras faixas etárias. Além disso, a análise concentrou-se apenas na tarefa de saltos laterais, reforçando a necessidade de futuras investigações que incluam outras habilidades motoras e funcionais.

Outro ponto relevante é que os participantes com SD precisaram apresentar um nível mínimo de habilidade para executar o salto, uma vez que aqueles que não conseguiram realizar o teste foram excluídos da avaliação. Assim, embora o teste instrumentado seja promissor, sua aplicabilidade se restringe a pessoas com padrões motores mais desenvolvidos, limitando a abrangência dos resultados.

Por fim, variáveis como nível habitual de atividade física, força dos membros inferiores e grau de deficiência intelectual não foram sistematicamente controladas. Estudos futuros, com amostras maiores e delineamentos longitudinais, poderão ampliar a compreensão desses efeitos e validar o uso desta abordagem metodológica em diferentes contextos clínicos e educacionais.

## 8 CONCLUSÃO

O presente estudo identificou diferenças nos padrões motores entre adultos com e sem SD durante a execução de saltos laterais, com destaque para a maior variabilidade da aceleração nos eixos mediolateral e anteroposterior, e pela menor estabilidade no eixo vertical entre os participantes com SD. Esses resultados sugerem que indivíduos com SD apresentam maior dispersão no controle do movimento, tanto nas direções lateral e frontal quanto nas fases de impulsão e aterrissagem, o que pode comprometer a eficiência do salto e aumentar a demanda por ajustes posturais.

A utilização de análises multivariadas baseadas em sinais de acelerometria permitiu identificar métricas com elevado poder discriminativo e visualizar agrupamentos consistentes entre os participantes, destacando características sutis do movimento que contribuem para explicar as particularidades dos padrões motores observados em cada grupo. Esses resultados fornecem subsídios importantes para o planejamento de intervenções motoras específicas, voltadas ao aprimoramento do equilíbrio dinâmico, do controle de tronco e da coordenação motora, favorecendo a funcionalidade e a participação em atividades físicas de adultos com SD.

## REFERÊNCIAS

- AGARWAL GUPTA, N.; KABRA, M. Diagnosis and Management of Down Syndrome. **The Indian Journal of Pediatrics**, [s. l.], vol. 81, n° 6, p. 560–567, 2014.
- ALESI, M. *et al.* Gross motor proficiency and intellectual functioning: A comparison among children with Down syndrome, children with borderline intellectual functioning, and typically developing children. **Medicine**, [s. l.], vol. 97, n° 41, p. e12737, 2018.
- ALESI, M. *et al.* Motor Coordination and Global Development in Subjects with Down Syndrome: The Influence of Physical Activity. **Journal of Clinical Medicine**, [s. l.], vol. 11, n° 17, p. 5031, 2022.
- ALESI, M.; BATTAGLIA, G. Chapter Six - Motor development and Down syndrome. *In*: LANFRANCHI, S. (org.). **International Review of Research in Developmental Disabilities**. [S. l.]: Academic Press, 2019. (International Review of Research in Developmental Disabilities). vol. 56, p. 169–211. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211609519300077>. Acesso em: 22 mar. 2024.
- ANTONARAKIS, S. E. *et al.* Down syndrome. **Nature Reviews Disease Primers**, [s. l.], vol. 6, n° 1, p. 9, 2020.
- ANTONARAKIS, S. E. Parental Origin of the Extra Chromosome in Trisomy 21 as Indicated by Analysis of DNA Polymorphisms. **New England Journal of Medicine**, [s. l.], vol. 324, n° 13, p. 872–876, 1991.
- AUYANG, A. G.; CHANG, Y.-H. Effects of a Foot Placement Constraint on Use of Motor Equivalence during Human Hopping. **PLOS ONE**, [s. l.], vol. 8, n° 7, p. e69429, 2013.
- AUYANG, A. G.; YEN, J. T.; CHANG, Y.-H. Neuromechanical stabilization of leg length and orientation through interjoint compensation during human hopping. **Experimental Brain Research**, [s. l.], vol. 192, n° 2, p. 253–264, 2009.
- BARDID, F. *et al.* A hitchhiker's guide to assessing young people's motor competence: Deciding what method to use. **Journal of Science and Medicine in Sport**, [s. l.], vol. 22, n° 3, p. 311–318, 2019.
- BARNETT, L. M. *et al.* Correlates of Gross Motor Competence in Children and Adolescents: A Systematic Review and Meta-Analysis. **Sports Medicine**, [s. l.], vol. 46, n° 11, p. 1663–1688, 2016.
- BATTAGLIA, G. *et al.* Interrelationship Between Age, Gender, and Weight Status on Motor Coordination in Italian Children and Early Adolescents Aged 6–13 Years Old. **Frontiers in Pediatrics**, [s. l.], vol. 9, 2021. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fped.2021.738294>. Acesso em: 28 fev. 2024.
- BEERSE, M.; WU, J. Vertical stiffness and balance control of two-legged hopping in-place in children with and without Down syndrome. **Gait & Posture**, [s. l.], vol. 63, p. 39–45, 2018.
- BEERY, K. E.; BEERY, N. A. The Beery-Buktenica Developmental Test of Visual Motor Integration: Administration, scoring, and teaching manual. [s. l.], n° 5, 2004.
- BRASIL. **Boletim Epidemiológico - Volume 55 - nº 06 — Ministério da Saúde**. [S. l.], 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/centrais-de->

conteudo/publicacoes/boletins/epidemiologicos/edicoes/2024/boletim-epidemiologico-volume-55-no-06/view. Acesso em: 19 mar. 2024.

BRUGNARO, B. H. *et al.* Relationship between sensory processing patterns and gross motor function of children and adolescents with Down syndrome and typical development: a cross-sectional study. **Journal of Intellectual Disability Research**, [s. l.], vol. 68, n° 4, p. 358–368, 2024.

BRUININKS, R. H.; BRUININKS, B. D. Bruininks-Oseretsky Test of Motor Proficiency, Second Edition. , 2012. Disponível em: <https://doi.apa.org/doi/10.1037/t14991-000>. Acesso em: 27 mar. 2024.

BULL, M. J. Down Syndrome. **New England Journal of Medicine**, [s. l.], vol. 382, n° 24, p. 2344–2352, 2020.

BULL, F. C. *et al.* World Health Organization 2020 guidelines on physical activity and sedentary behaviour. **British Journal of Sports Medicine**, [s. l.], vol. 54, n° 24, p. 1451–1462, 2020.

CABEZA-RUIZ, R. *et al.* Feasibility and Reliability of a Physical Fitness Test Battery in Individuals with Down Syndrome. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, [s. l.], vol. 16, n° 15, p. 2685, 2019.

CLARIDGE-CHANG, A.; ASSAM, P. N. Estimation statistics should replace significance testing. **Nature Methods**, [s. l.], vol. 13, n° 2, p. 108–109, 2016.

CUESTA-VARGAS, A. I.; GALÁN-MERCANT, A.; WILLIAMS, J. M. The use of inertial sensors system for human motion analysis. **Physical Therapy Reviews**, [s. l.], vol. 15, n° 6, p. 462–473, 2010.

DUARTE, E.; COSTA, L. T.; GORLA, J. I. **Síndrome de Down: crescimento, maturação e atividade física**. [S. l.]: Phorte Editora LTDA, 2017.

DUPRE, C.; WEIDMAN-EVANS, E. Musculoskeletal development in patients with Down syndrome. **JAAPA: official journal of the American Academy of Physician Assistants**, [s. l.], vol. 30, n° 12, p. 38–40, 2017.

FERNÁNDEZ-BLANCO, Á.; DIERSSEN, M. Rethinking Intellectual Disability from Neuro- to Astro-Pathology. **International Journal of Molecular Sciences**, [s. l.], vol. 21, n° 23, p. 9039, 2020.

GALLAHUE, D. L.; DONNELLY, F. C. **Developmental Physical Education for All Children**. [S. l.]: Human Kinetics, 2007.

GIL, M. M. *et al.* Analysis of cell-free DNA in maternal blood in screening for aneuploidies: updated meta-analysis. **Ultrasound in Obstetrics & Gynecology: The Official Journal of the International Society of Ultrasound in Obstetrics and Gynecology**, [s. l.], vol. 50, n° 3, p. 302–314, 2017.

GORLA, J. I. **Coordenação motora de portadores de deficiência mental: avaliação e intervenção**. 2001. - Universidade Estadual de Campinas, [s. l.], 2001. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/205435>. Acesso em: 8 fev. 2024.

GORLA, J. *et al.* O teste KTK na avaliação da coordenação motora de crianças e suas relações com antropometria e desempenho motor: revisão sistemática. **Research Society and Development**, [s. l.], vol. v.11, 2022.

- GORLA, J. I.; ARAUJO, P. F. de; RODRIGUES, J. L. **Avaliação Motora em Educação Física. Teste KTK**. 3ª edição. [S. l.]: Phorte, 2014.
- GUPTA, N. Deciphering Intellectual Disability. **Indian Journal of Pediatrics**, [s. l.], vol. 90, nº 2, p. 160–167, 2023.
- HAMADELSEED, O.; SKUTELLA, T. Correlating MRI-based brain volumetry and cognitive assessment in people with Down syndrome. **Brain and Behavior**, [s. l.], vol. 13, nº 10, p. e3186, 2023.
- HENDERSON, S. E.; SUGDEN, D. A.; BARNETT, A. Movement Assessment Battery for Children. [s. l.], nº 2, 2007.
- HO, J. *et al.* Moving beyond P values: data analysis with estimation graphics. **Nature Methods**, [s. l.], vol. 16, nº 7, p. 565–566, 2019.
- HOLMES, G. Gastrointestinal disorders in Down syndrome. **Gastroenterology and Hepatology from Bed to Bench**, [s. l.], vol. 7, nº 1, p. 6–8, 2014.
- HSIEH, K.; RIMMER, J. H.; HELLER, T. Obesity and associated factors in adults with intellectual disability. **Journal of Intellectual Disability Research**, [s. l.], vol. 58, nº 9, p. 851–863, 2014.
- IGLESIAS-DÍAZ, L. *et al.* Lifting Limits: The Impact of Strength Training in Down Syndrome-A Systematic Review and Meta-Analysis. **Journal of intellectual disability research: JIDR**, [s. l.], 2025.
- IOSA, M. *et al.* Wearable inertial sensors for human movement analysis. **Expert Review of Medical Devices**, [s. l.], vol. 13, nº 7, p. 641–659, 2016.
- JAIN, P. D. *et al.* Gross motor dysfunction and balance impairments in children and adolescents with Down syndrome: a systematic review. **Clinical and Experimental Pediatrics**, [s. l.], vol. 65, nº 3, p. 142–149, 2022.
- KAMINKER, P.; ARMANDO, R. [Down syndrome: first part: clinical and genetic approach]. **Archivos Argentinos De Pediatría**, [s. l.], vol. 106, nº 3, p. 249–259, 2008.
- KIPHARD, E. J.; SCHILLING, F. **Körperkoordinationstest für kinder: KTK**. Beltz: [s. d.], 1974.
- KIRKLAND, M. C.; WADDEN, K. P.; PLOUGHMAN, M. Bipedal hopping as a new measure to detect subtle sensorimotor impairment in people with multiple sclerosis. **Disability and Rehabilitation**, [s. l.], vol. 44, nº 8, p. 1544–1555, 2022.
- KOO, D. *et al.* Analysis of the relationship between muscular strength and joint stiffness in children with Down syndrome during drop landing. **Technology and Health Care: Official Journal of the European Society for Engineering and Medicine**, [s. l.], vol. 30, nº S1, p. 383–390, 2022.
- KRAUSE, S. *et al.* Obesity in adolescents with intellectual disability: Prevalence and associated characteristics. **Obesity Research & Clinical Practice**, [s. l.], vol. 10, nº 5, p. 520–530, 2016.
- LOPEZ-NAVA, I. H.; MUNOZ-MELENDZ, A. Wearable Inertial Sensors for Human Motion Analysis: A Review. **IEEE Sensors Journal**, [s. l.], vol. 16, nº 22, p. 7821–7834, 2016.

- MALAK, R. *et al.* Motor skills, cognitive development and balance functions of children with Down syndrome. **Annals of Agricultural and Environmental Medicine**, [s. l.], vol. 20, n° 4, 2013.
- MALAN, V. *et al.* Effect of Cell-Free DNA Screening vs Direct Invasive Diagnosis on Miscarriage Rates in Women With Pregnancies at High Risk of Trisomy 21: A Randomized Clinical Trial. **Obstetrical & Gynecological Survey**, [s. l.], vol. 74, n° 1, p. 16–17, 2019.
- MASCI, I. *et al.* Assessing Hopping Developmental Level in Childhood Using Wearable Inertial Sensor Devices. **Motor Control**, [s. l.], vol. 16, n° 3, p. 317–328, 2012.
- MAZUREK, D.; WYKA, J. Down syndrome--genetic and nutritional aspects of accompanying disorders. **Roczniki Panstwowego Zakladu Higieny**, [s. l.], vol. 66, n° 3, p. 189–194, 2015.
- MELO, G. L. R. *et al.* Resistance training and Down Syndrome: A narrative review on considerations for exercise prescription and safety. **Frontiers in Physiology**, [s. l.], vol. 13, p. 948439, 2022.
- MOREIRA, L. M.; EL-HANI, C. N.; GUSMÃO, F. A. A síndrome de Down e sua patogênese: considerações sobre o determinismo genético. **Revista Brasileira de Psiquiatria**, [s. l.], vol. 22, n° 2, p. 96–99, 2000.
- NORTON, M. E. *et al.* Non-Invasive Chromosomal Evaluation (NICE) Study: results of a multicenter prospective cohort study for detection of fetal trisomy 21 and trisomy 18. **American Journal of Obstetrics and Gynecology**, [s. l.], vol. 207, n° 2, p. 137.e1-137.e8, 2012.
- PATEL, D. R. *et al.* A clinical primer on intellectual disability. **Translational Pediatrics**, [s. l.], vol. 9, n° Suppl 1, p. S23-S2S35, 2020.
- POST, E. M. *et al.* The Effects of Resistance Training on Physical Fitness and Neuromotor-Cognitive Functions in Adults With Down Syndrome. **Frontiers in Rehabilitation Sciences**, [s. l.], vol. 3, p. 927629, 2022.
- PTOMEY, L. T. *et al.* Changes in cognitive function after a 12-week exercise intervention in adults with Down syndrome. **Disability and Health Journal**, [s. l.], vol. 11, n° 3, p. 486–490, 2018.
- PTOMEY, L. T. *et al.* Weight management recommendations for youth with Down syndrome: Expert recommendations. **Frontiers in Pediatrics**, [s. l.], vol. 10, p. 1064108, 2022.
- PTOMEY, L. T. *et al.* Weight status and associated comorbidities in children and adults with Down syndrome, autism spectrum disorder and intellectual and developmental disabilities. **Journal of Intellectual Disability Research**, [s. l.], vol. 64, n° 9, p. 725–737, 2020.
- QUINZI, F. *et al.* Assessing motor competence in kicking in individuals with Down syndrome through wearable motion sensors. **Journal of intellectual disability research: JIDR**, [s. l.], vol. 66, n° 6, p. 558–567, 2022a.
- QUINZI, F. *et al.* Hopping skill in individuals with Down syndrome: A qualitative and quantitative assessment. **Human Movement Science**, [s. l.], vol. 78, p. 102821, 2021.
- QUINZI, F. *et al.* Motor Competence in Individuals with Down Syndrome: Is an Improvement Still Possible in Adulthood?. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, [s. l.], vol. 19, n° 4, p. 2157, 2022b.

RINK, B. D.; NORTON, M. E. Screening for fetal aneuploidy. **Seminars in Perinatology**, [s. l.], vol. 40, n° 1, The Changing Paradigm of Perinatal screening for Birth Defects, p. 35–43, 2016.

SANTOS, P. S. A. *et al.* The hand tremor spectrum is modified by the inertial sensor mass during lightweight wearable and smartphone-based assessment in healthy young subjects. **Scientific Reports**, [s. l.], vol. 12, n° 1, p. 16808, 2022.

SCHOTT, N.; HOLFELDER, B. Relationship between motor skill competency and executive function in children with Down's syndrome. **Journal of intellectual disability research: JIDR**, [s. l.], vol. 59, n° 9, p. 860–872, 2015.

SHIELDS, N. *et al.* An exploratory study of the association between physical activity, cardiovascular fitness and body size in children with Down syndrome. **Developmental Neurorehabilitation**, [s. l.], vol. 20, n° 2, p. 92–98, 2017.

SHIELDS, N. *et al.* Do adults with Down syndrome do the same amount of physical activity as adults without disability? A proof of principle study. **Journal of Applied Research in Intellectual Disabilities**, [s. l.], vol. 31, n° 3, p. 459–465, 2018.

TSOU, A. Y. *et al.* Medical Care of Adults With Down Syndrome: A Clinical Guideline. **JAMA**, [s. l.], vol. 324, n° 15, p. 1543–1556, 2020.

ULRICH, D. **Test of gross motor development-2**. [S. l.]: [s. d.], 2000.

ULRICH, D. A. TGMD-3: test of gross motor development. [s. l.], 2019.

VIČIĆ, A. *et al.* Prenatal diagnosis of Down syndrome: A 13-year retrospective study. **Taiwanese Journal of Obstetrics and Gynecology**, [s. l.], vol. 56, n° 6, p. 731–735, 2017.

ZOLGHADR, H. *et al.* The impact of exercise interventions on postural control in individuals with Down syndrome: a systematic review and meta-analysis. **BMC sports science, medicine & rehabilitation**, [s. l.], vol. 17, n° 1, p. 35, 2025.