



UNIVERSIDADE DE
COIMBRA

João André Rangel Carvalho

**ANÁLISE DA SATURAÇÃO DE OXIGÉNIO
MUSCULAR EM DIFERENTES INTERVALOS
DE RECUPERAÇÃO NO TREINO DE FORÇA
MÁXIMA.**

**CONTRIBUTO PARA COMPREENSÃO DA
OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE TREINO.**

VOLUME 1

**Dissertação no âmbito do Mestrado em Biocinética, orientada pelo
Professor Doutor Luís Rama e apresentada à Faculdade de
Ciências do Desporto e Educação Física da Universidade de
Coimbra.**

Outubro de 2021

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com a colaboração de um conjunto de pessoas que direta ou indiretamente deram o seu contributo para a concretização do mesmo. Aos quais quero deixar desde já o meu agradecimento.

Primeiramente quero agradecer à minha família por todo o apoio e acompanhamento que proporcionaram durante esta jornada.

Ao professor Luís Rama, que como meu orientador esteve sempre disponível para a me ajudar e guiar durante este longo processo.

À direção da Secção de Cultura Física da Associação Académica de Coimbra, por me ter acolhido e permitido fazer uso das suas instalações.

À equipa de powerlifitng e Secção de Cultura Física da Associação Académica de Coimbra, por me terem transmitido a paixão pelo seu desporto, e motivado para elevar as minhas capacidades como atleta e treinador.

Índice Geral

Agradecimentos	3
lista de Abreviaturas	2
Índice de Figuras	3
Índice de equações.....	4
Índice de tabelas	5
Resumo	6
Abstract.....	7
Introdução.....	8
Fundamentação Teórica.....	8
Conceito de força muscular	8
Suporte energético na capacidade de produção de força	9
A via dos fosfagénios	10
A via glicolítica em atividades de alta intensidade	10
Produção e acumulação de Lactato	11
Mecanismos explicativos da fadiga em treino resistido	12
Ressíntese de PCr	12
Oximetria por espectrômetro de infravermelho proximal	13
Velocidade na realização da ação motora	15
Objetivos do estudo	17
Métodos e materiais.....	18
Protocolo experimental	18
Material	19
Caracterização da amostra	19
Procedimentos	20
Escala de percepção de esforço baseada em repetições em reserva	23
Estatística	23
Resultados.....	24
Discussão	27
Conclusão	30
Bibliografia.....	31

LISTA DE ABREVIATURAS

%PCr	Porcentagem de ressíntese de PCr.
1RM	Uma Repetição.
ACV	Velocidade concêntrica média.
ADP	Difosfato de adenosina.
ATP	Trifosfato de adenosina.
BLC	Lactato sanguíneo.
HHb	Hemoglobina desoxigenada.
LHD	Enzima lactato desidrogenase.
Mb	Mioglobina.
HMb	Desoxihemoglobina.
MPO	Potência média.
NIRS	Espectrômetro de infravermelho proximal.
O ₂	Oxigênio.
O ₂ Hb	Hemoglobina oxigenada.
O ₂ Mb	Oxihemoglobina.
PHD	Enzima piruvato desidrogenase.
PPO	Pico de potência.
PT1	Protocolo de treino tipo um.
PT2	Protocolo de treino tipo dois.
MST	Treino de força máxima.
SmO ₂	Saturação de oxigênio muscular.
tHb	Quantidade total de hemoglobina,
TOI	Índice de oxigenação dos tecidos.
VO ₂	Consumo de oxigênio.
VO _{2max}	Consumo máximo de oxigênio.

Índice de Figuras

Figura 1. Exemplo de perfil força-velocidade e estimativa de uma repetição máxima calculado através do software cronjump (2.0.2).....	20
Figura 2. Figura 3. Exemplo de modelo exponencial para a obtenção do time delay na recuperação de SmO ₂	21
Figura 3. Representação da execução do movimento de back squat. As imagens estão ordenadas de acordo com os critérios de validação, indicando a posição inicial (a), uma posição intermédia que marca o fim da fase excêntrica e o início da fase concêntrica (b), e a posição final (c).....	22
Figura 4. Figura 4. Escala de percepção de esforço baseada em repetições em reserva. Adaptado de Zourdos et al., 2016 (Zourdos et al., 2016).....	23

Índice de equações

Equação 1. Saturação de oxigénio no músculo (S_{mO_2}) de acordo com (Scholkmann et al., 2014).....	13
Equação 2. Modelo de cálculo exponencial para o cálculo de time delay.	21

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Estatística descritiva das variáveis Idade, Estatura, Massa Corporal, Rácio 1Rm/massa corporal e volume da coxa.	19
Tabela 2. Tempo entre o final da repetição/série até o valor SmO ₂ estabilizar (Time delay).	24
Tabela 3. Estatística descritiva das variáveis percentagens de SmO ₂ , time delay, percentagem da recuperação de SmO ₂ , lactato, frequência cardíaca e percentagem da recuperação da frequência cardíaca.	24
Tabela 4. Estatística descritiva das variáveis percentagens da velocidade média concêntrica perdida (ACV), percepção de esforço (RPE) e repetição máxima estimada (eRM).	25
Tabela 5. Estatística comparativa das variáveis velocidade média, percentagem de velocidade perdida e concentração de lactato.	26

RESUMO

O treino de força máxima (MST) é caracterizado pela manipulação de resistências externas de grande magnitude (75% a 90% da 1RM). A prescrição do treino de MST é normalmente estruturada para aplicação em treino intervalado, organizado em séries de repetições de exercícios. Para este tipo de força, a literatura sugere que longos tempos de repouso que assegurem uma recuperação completa entre cada conjunto de repetições (série), contribuem para otimizar o processo de treino (Ellers et al., 2016). O objetivo deste estudo foi verificar a relação entre a saturação de oxigênio muscular (SmO_2) no músculo vasto lateral e o intervalo de repouso com recurso à análise do desempenho num protocolo de treino com o objetivo de melhorar a capacidade de produção de força máxima no movimento *back squat*. Seis sujeitos do sexo masculinos com experiência e recente frequência de prática de *powerlifting* (média \pm DP: idade, $24,1 \pm 2,68$ anos; estatura, $147 \pm 71,4$ cm; massa corporal, $83,9 \pm 8,93$ kg) participaram na presente experiência. Esta foi dividida em dois momentos, onde foram realizadas duas simulações de um treino orientado para a melhoria da capacidade de produção de força máxima (5 séries de 3 repetições a 83%). No primeiro momento (PT1) os tempos de recuperação entre séries foram cronometrados num tempo fixo de oito minutos. Já o segundo momento (PT2), utiliza dados recolhidos durante o PT1 e a posterior análise individual, para identificar o tempo médio para atingir valores ótimos de reoxigenação do tecido muscular (*time delay*), que foram tidos como referência para o controle dos tempos de descanso entre séries em PT2.

Os resultados sugerem que a diminuição dos tempos de recuperação definida pelos valores obtidos de *Time delay* em PT1, não tiveram um significativo impacto na performance quando comparamos o rendimento da amostra entre PT1 e PT2. O que nos leva a concluir que os períodos de recuperação definidos para PT2 permitiram recuperações completas, evitando um acúmulo de fadiga exponencial que pudesse afetar negativamente a performance da amostra.

Palavras-chave: Força máxima, oxigenação muscular, back squat, NIRS, powerlifting.

ABSTRACT

Maximum strength training (MST) is based on the manipulation of external resistances of great magnitude (75% to 90% of the 1RM). The MST training prescription is usually structured by interval training, organized in set of n exercise repetitions. For this type of effort, the literature suggests that long rest times that ensure a complete recovery between each sets optimize the training process (Ellers et al., 2016). The aim of this study was to verify the relationship between muscle oxygen saturation (SmO_2) in the vastus lateralis muscle and the rest interval using the performance analysis over a training protocol with the goal of improving maximal force capacity in the back squat exercise. Six male subjects with experience and recent frequency of powerlifting practice (mean \pm SD: age, 24.1 ± 2.68 years; height, 147 ± 71.4 cm; body mass, 83.9 ± 8.93 kg) participated in the present experience. This one, was divided into two moments, where two simulations of a training aimed at improving the capacity to produce maximum strength were performed (5 sets of 3 repetitions at 83%). In the first moment (PT1) the subjects, recovery times between sets were timed in eight minutes. The second moment (PT2) uses collected data during PT1 and individual analysis, to identify the average time to reach optimal values of reoxygenation in muscle tissue (time delay), which were taken as a reference to control rest times between sets in PT2.

The results suggest that the decrease in recovery times defined by the Time delay values from PT1 did not have a significant impact on performance when comparing the sample throughput moments. Our findings lead us to conclude that the recovery periods defined for PT2 allowed for complete recoveries, avoiding an exponential accumulation of fatigue that could have had a negative impact on performance.

Keyword: Maximal strength training, muscle oxygenation, back squat, NIRS, powerlifting.

INTRODUÇÃO

O treino da força visa proporcionar de modo individualizado ao atleta um programa de treino otimizado para conseguir a melhoria controlada do desempenho. Para que isto aconteça é necessário conhecer o atleta para propor exigências de exercitação adequadas. Cada vez a obtenção de resultados desportivos é feita recorrendo a ferramentas e sistemas de análise, permitindo quantificar variáveis que de modo rigoroso ultrapassando as limitações da avaliação subjetiva.

O treino de treino de força máxima (MST), é caracterizado pelo uso de cargas elevadas entre 80% a 100% de uma repetição máxima (1RM), e depende essencialmente de fatores estruturais e neurais. Este regime de treino é a base de desportos como o *powerlifting* e o *halterofilismo*, e é cada vez mais usado como suporte em outras modalidades. A prescrição do treino de MST é normalmente estruturada para aplicação em treino intervalado, organizado em séries de repetições de exercícios. Para este tipo de força, o tempo de repouso entre cada conjunto de repetições (série) é proposto na literatura como devendo ser entre três a cinco minutos (Ratamess et al., 2007). Este tem sido usualmente apontada como o intervalo de repouso necessário, para que o atleta consiga manter a qualidade no desempenho, sem correr o risco de acumular fadiga de série para série. No entanto estes valores podem não corresponder às reais necessidades do atleta, o que se pode refletir em sessões de treino excessivamente prolongadas no caso de o atleta não necessitar de tanto repouso, ou pode ser um tempo de recuperação insuficiente para um outro praticante.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

CONCEITO DE FORÇA MUSCULAR

A força muscular é tida como uma capacidade de grande preponderância para a performance desportiva, mas também para a manutenção da qualidade de vida e saúde.

No vasto leque de modalidades desportivas, a produção de força é expressa em diferentes formas e magnitudes para cada contexto específico. Existem modalidades onde o principal foco está na manipulação de uma resistência externa, são exemplos das mesmas o *powerlifting*, halterofilismo e o lançamento do disco. Outras têm como principal resistência um oponente, como é o caso do futebol e o boxe. E existem ainda modalidades onde o sujeito manipula o seu próprio corpo, como na corrida e ginástica.

No domínio da física a força é definida como sendo uma causa capaz de produzir a alteração do movimento de um corpo, esta pode acontecer devido à alteração da velocidade, aceleração, forma, e direção de movimento (Zatsiorsky, Vladimir & Kraemer, 2005). Segundo a 2ª lei de Newton, a soma das forças exercidas sobre um corpo, pode ser traduzida pelo produto da massa pela aceleração desse mesmo corpo.

Nas ciências do desporto e no que diz respeito ao movimento humano, a produção de força está sujeita a condições específicas e por isso a sua definição necessita também de englobar as particularidades inerentes a tal realidade. Posto isto, a força pode ser definida pela *“capacidade que o atleta possui de exercer tensão ao atuar sobre uma resistência externa”* (Siff, 2001). Embora esta definição já seja bastante adequada à prática desportiva não abrange condições importantes que influenciam diretamente a produção de força. Knuttgen e Kaemer em 1987, descrevem força como sendo a *“força muscular máxima que um grupo muscular consegue produzir a uma velocidade específica* (Knuttgen et al., 1987). Já Everett Everett em 1993, oferece uma definição mais completa, em que *“a produção de força é a habilidade de exercer força sob condições específicas definidas pelo posicionamento do corpo, o movimento do corpo onde a força é aplicada, e a velocidade com que essa mesma força é exercida”* (Everett, 1993).

SUPORTE ENERGÉTICO NA CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DE FORÇA

Toda a atividade física requer energia, esta é obtida pelo organismo pela degradação trifosfato de adenosina (ATP), o corpo humano possui cerca de 8 mmol/kg de massa muscular de ATP (Baker et al., 2010), e mesmo em exaustão total o ATP no músculo não baixa os 5 mmol/kg massa muscular (Spriet, 2014). Para a manutenção da homeostase o organismo produz energia através de três vias diferentes, sendo que cada uma destas responde melhor a necessidades de ATP específicas. Os sistemas de produção de energia são, a via dos fosfagénios, a via glicolítica e a via oxidativa. A contribuição dos mesmos para um determinado esforço físico depende essencialmente da intensidade e duração que determinada atividade requer (Gastin, 2001).

Esforços de máxima intensidade com contrações musculares próximas do seu potencial máximo, são compostos primordialmente por um metabolismo anaeróbio, o que engloba a via dos fosfagénios e via glicolítica. A necessidade de obtenção de energia quase instantânea, é a razão pela qual estas vias são estimuladas. As mesmas apresentam

uma limitada capacidade de gerar energia o que torna a sua atuação limitada no tempo. Por outro lado, o metabolismo aeróbio é a via com maior capacidade de produção de ATP, contudo, não tão imediato como as vias anaeróbias.

A VIA DOS FOSFAGÉNIOS

A síntese de ATP através da decomposição da fosfocreatina (PCr) é o sistema mais rápido para a obtenção de energia (McMahon & Jenkins, 2002). Tal acontece, porque esta via assenta em mecanismos que a tornam bastante eficiente. Apenas é necessária uma reação química para a produção de uma molécula de ATP, utilizando a PCr como substrato energético que doa um íao fosfato a uma molécula de difosfato de adenosina (ADP). A PCr é armazenada no citosol da célula muscular, o que a coloca numa posição bastante favorável para a sua utilização rápida, assim, todos os substratos necessários para a reação encontram-se na proximidade do local da sua utilização(Baker et al., 2010).

No entanto, a capacidade desta via depende das concentrações de fosfocreatina no tecido muscular que são limitadas, aproximadamente 26 mmol/Kg de massa muscular. O que faz com que este sistema predomine apenas nos primeiros segundos de esforço(Baker et al., 2010). É aceite que a via fosfagénica seja dominante durante os primeiros cinco a seis segundos (Timmons et al., 1998). Contrações musculares máximas estimulam de imediato a degradação de PCr, mas a sua utilização como substrato energético começa a diminuir a partir sensivelmente do primeiro segundo e meio de esforço máximo (McMahon & Jenkins, 2002). Esta tipologia de esforço leva à depleção das reservas de fosfocreatina e glicogénio muscular (Tesch et al., 1986).

A VIA GLICOLÍTICA EM ATIVIDADES DE ALTA INTENSIDADE

Durante o exercício intenso o organismo na tentativa de suprimir a demanda energética, degrada moléculas de glicose para gerar ATP

A via glicolítica usa como substratos a glucose sanguínea e o glicogénio muscular.

Embora contrações máximas de curta duração (inferior a dez segundos), estejam em grande parte dependentes da via anaeróbia alática ou dos fosfagénios, o metabolismo glicolítico também contribui de forma significativa para a demanda energética de atividades com estas características. Apesar de esta ser uma via com um maior grau de

complexidade no seu processo para gerar ATP, é também ativada em frações de segundo (Gastin, 2001; Parolin et al., 1999).

Quando esforços às intensidades anteriormente descritas, são repetidos e intervalados por um período de descanso, é notório o progressivo aumento da contribuição glicolítica. Tal acontece, porque as reservas de PCr vão sendo menores a cada sucessivo período de esforço, o que diminui a capacidade do processo de fosforilação (Parolin et al., 1999)

PRODUÇÃO E ACUMULAÇÃO DE LACTATO

No final da metabolização de glicogénio por parte da via glicolítica, surge o piruvato como subproduto desse processo.

Durante esforços intensos, existe um momento devido ao elevado metabolismo glicolítico em que organismo passa a produzir mais piruvato do que aquele que o mecanismo aeróbio (ciclo de Krebs / cadeia de transporte de electrões) tem a capacidade de processar. Ou seja, a glicólise está a ocorrer a um ritmo superior ao da oxidação de piruvato por parte da enzima piruvato desidrogenase (PHD).

Devido a isso, a enzima lactato desidrogenase (LHD) converte o piruvato a lactato (Robergs et al., 2004). Então, é o equilíbrio entre a glicólise e a capacidade de oxidação de piruvato, que dita a quantidade de lactato a ser produzida. Esta reação surge porque a célula tem a necessidade de remover a acidose causada pelos metabólitos originados, para que a glicólise se possa prolongar. A transformação do piruvato em lactato, permite a sua remoção da célula de origem para que possa ser processado e usado como substrato energético em outros tecidos, como fígado, rins e outras fibras musculares (Copenhagen, 1996; Frca et al., 2006).

As concentrações normais de lactato no plasma sanguíneo são aproximadamente de 0.3 a 1.3 mmol/litro, e a sua produção basal de sensivelmente 0.8 mmol/kg/h (Frca et al., 2006). Concentrações de lactato sanguíneo (BLC), são uma ferramenta bastante utilizada na avaliação das capacidades aeróbias e anaeróbias de atletas. Permitem compreender as respostas fisiológicas que ocorrem durante e após o exercício, demonstrando uma grande resposta à magnitude e duração das intensidades impostas (Beneke et al., 2011).

O conceito de limiar anaeróbio e a BLC constituem conceitos interligados. No âmbito das ciências do desporto o limiar anaeróbio é tido como um marcador do momento

em que o organismo transita de uma produção energética predominantemente aeróbia, para um aumento significativo da contribuição do metabolismo anaeróbio. O Limiar anaeróbio retrata o desequilíbrio entre a produção de piruvato, e a capacidade de este ser removido pelo sistema aeróbio. Quando tal ocorre, dá-se um aumento exponencial das concentrações de lactato sanguíneo (Heck, 1991).

O treino resistido tem algumas particularidades que parecem influenciar a dinâmica da produção de lactato. É na generalidade constituído pela realização de exercícios intervalados de grande intensidade em que o músculo necessita de uma grande demanda energética. Durante o esforço, o fluxo sanguíneo é dificultado devido à contração muscular, o que também parece influenciar atividade metabólica. Em 2014, Wirtz e colaboradores caracterizaram a cinética da BLC durante um treino resistido composto por três séries de trabalho para cada grupo muscular ou padrão motor testado. Nesta investigação os autores verificaram que o aumento mais significativo da acumulação de lactato ocorreu entre a segunda e a terceira série. Durante a primeira série houve também um aumento de lactato, o que não se verificou nas segundas e terceiras séries onde a BLC diminuiu durante a execução do exercício (Wirtz et al., 2014).

MECANISMOS EXPLICATIVOS DA FADIGA EM TREINO RESISTIDO

Durante uma sessão de treino resistido, em que o atleta executa várias sequências de contrações submáximas ou até máximas, é esperado que haja acúmulo de fadiga que é acompanhada pela redução da capacidade de produção de força e potência (Søgaard et al., 2006). O ritmo da ressíntese de PCr, a diminuição da ativação nervosa máxima voluntária dos músculos agonistas, o aumento da co ativação de músculos antagonistas, e ainda a acumulação de lactato são alguns dos fatores que maior impacto têm na produção de força (Abdessemed et al., 1999).

RESSÍNTESE DE PCr

A recuperação completa das reservas de PCr após um esforço intenso pode demorar de 5 a 15 minutos, dependendo da quantidade de PCr consumida, do tipo de fibras musculares, e da acidose muscular presente (Baker et al., 2010). Tal mecanismo, é crucial para a manutenção dos níveis de potência em esforços com curta duração (0 a 10 segundos) de alta intensidade, organizados em sequências de intervaladas (Mendez-

Villanueva et al., 2012). Bogdanis et al. demonstram no seu trabalho em 1996, uma correlação negativa da percentagem de ressíntese de PCr (%PCr) com o pico de potência (PPO) e com a potência média (MPO) geradas em sprints de trinta segundos num cicloergómetro (Bogdanis et al., 1996). Correlação essa, que parece não ser evidente entre a remoção de acidose muscular e os níveis mesmos marcadores de performance, em esforços com mesma tipologia (Mendez-Villanueva et al., 2012). Valores de PPO, são recuperados mais rapidamente do que se observa a normalização dos níveis de pH intramuscular (Bogdanis et al., 1996).

McCully, em 1994 verificou que o tempo e recuperação dos níveis de saturação de oxigénio muscular (SmO_2) e o tempo de ressíntese de PCr são idênticos após um esforço máximo. Isto deve-se à continuo consumo de oxigénio após o exercício para renovar as reservas de PCr (McCully et al., 1994). Durante a recuperação após o exercício físico os níveis de PCr são inversamente proporcionais ao ritmo de consumo de oxigénio (VO_2), e no momento de maior reposição de PCr dá-se o maior consumo de oxigénio (Mahler, 1985), pois a recuperação da saturação de oxigénio nos músculos representa o rácio entre a disponibilidade e o VO_2 .

Apesar da ressíntese de PCr depender em grande parte da disponibilidade de oxigénio (O_2) no tecido muscular, o pH gerado pela acumulação de iões hidrogénio local, também parece limitar a parte final do processo de recuperação (et al. Sahlin, 1979).

OXIMETRIA POR ESPECTRÓMETRO DE INFRAVERMELHO PROXIMAL

O espectrómetro de infravermelho proximal (NIRS), é um método não invasivo que permite fazer uma medição contínua do metabolismo oxidativo. Através da incidência de luz com um comprimento de onda de 650 nm a 900 nm no tecido corporal, utiliza a luz refletida pelo mesmo para estimar a saturação de oxigénio no músculo (SmO_2) (Farzam et al., 2018). Esse resultado é obtido através do rácio entre quantidade de hemoglobina oxigenada (O_2Hb) e quantidade de hemoglobina desoxigenada (HHb), e apresentado na forma de percentagens da saturação de O_2Hb indicando o SmO_2 numa escala de 0% a 100% através da equação (Scholkmann et al., 2014):

$$SmO_2 = \frac{O_2Hb}{O_2Hb + HHb} \times 10$$

Equação 1. Saturação de oxigénio no músculo (SmO_2) de acordo com (Scholkmann et al., 2014)

De destacar que esta tecnologia não possui a capacidade diferenciar a hemoglobina da mioglobina (Mb) e, portanto, os valores tidos como O₂Hb representam a soma da quantidade de O₂Hb e oxihemoglobina (O₂Mb). Assim como os valores de HHb apresentados, são indicativos da soma das quantidades de HHb e desoxihemoglobina (HMb). Valores de SmO₂ são apresentados quando o comprimento de onda emitido pelo dispositivo NIRS for direcionado apenas para o tecido muscular, mas também podemos encontrar referências ao índice de oxigenação dos tecidos (TOI) que se refere à medição da oxigenação em todos os tecidos alcançados pelo dispositivo (Feldmann et al., 2019).

A capacidade dos dispositivos NIRS fazerem medições no grupo muscular selecionado de forma prática, rápida e que lhes permita a funcionalidade na maioria dos ambientes desportivos, torna-os numa ferramenta muito interessante para ser aplicada no universo da prática desportiva. Em revisão recente Stephane Perrey e Marco Ferrari dão o NIRS como sendo um marcador metabólico fiável para avaliação local da resposta fisiológica ao treino, através do nível de oxigenação muscular, nomeadamente através do ritmo de desoxigenação e de reoxigenação (Perrey & Ferrari, 2018).

Num estudo feito em atletas de andebol, o ritmo de reoxigenação após um esforço máximo predominantemente anaeróbio foi mais rápido em atletas de elite quando comparados a indivíduos menos treinados. Já na quantidade de desoxigenação durante o próprio exercício, não foram encontradas diferenças significativas (Kounalakis et al., 2008). Tal pode ser explicado pela redução do fluxo sanguíneo durante o esforço devido às contrações musculares intensas. Pois a desoxigenação muscular não depende apenas do consumo de O₂, mas também do fluxo sanguíneo que é responsável pelo transporte e abastecimento de O₂ ao tecido (De Blasi et al., 1993; Peos et al., 2019; K. Sahlin, 1991).

Neste tipo de esforço, os atletas onde são esperadas maiores adaptações ao nível do transporte, consumo e utilização de O₂ não as demonstram de forma evidente durante a realização do exercício.

Nioka e os colegas demonstraram também, que um teste Wingate (WANT) conseguia originar maior desoxigenação muscular do que um teste de consumo máximo de oxigénio (VO_{2max}), mesmo em atletas cuja tipologia de treino assentava em adaptações direcionadas para esforços anaeróbios (Nioka et al., 1998). Diferenciar um aumento do consumo de oxigénio com a diminuição de disponibilidade do mesmo, é um ponto importante para avaliação de SmO₂ durante o esforço. Na falta de um método viável para mensurar o fluxo sanguíneo num determinado músculo em esforço, a análise da

quantidade total de hemoglobina (tHb) pode ser um método indireto capaz de representar as variações de fluxo sanguíneo (Kujach et al., 2016). E quando comparado a valores de O₂Hb ou HHb, permite clarificar a cinética da disponibilidade de O₂.

Patrick Davis e colaboradores em 2020, afirmaram que a utilização deste método para a análise de SmO₂ no treino resistido pode ser uma boa ferramenta para avaliar a recuperação muscular dessa mesma atividade. No seu trabalho compararam as demandas energéticas entre um *front squat* e um *back squat*, e com este método conseguiram concluir que no movimento de *back squat* o tempo necessário para a recuperação de 75% da variação de SmO₂, foi significativamente maior que o tempo necessário para a mesma recuperação no *front squat* (Davis et al., 2020).

VELOCIDADE NA REALIZAÇÃO DA AÇÃO MOTORA

A medição da velocidade concêntrica média (ACV) no treino de taxa de produção de força é tida como uma medida apropriada para a avaliação e monitorização de performance dos atletas. Este método baseia-se na relação entre a produção de força e a velocidade, onde se sabe que a força de contração produzida por um músculo é diretamente proporcional à velocidade de execução de um movimento (Bigland & Lippold, 1953).

A velocidade é então, um “*elemento determinante da intensidade*”, como descreve Gozález Badillo. Isto significa que a velocidade exprime a capacidade do atleta produzir força (González-Badillo, 2002). Tal, pode ser demonstrado durante a execução de um exercício resistido. Onde são esperadas maiores velocidades concêntricas durante as primeiras repetições e de seguida uma inevitável e gradual diminuição da mesma, resultado de perturbações músculo-esqueléticas e neurais que levam à diminuição da capacidade de produção de força por parte do atleta (Enoka & Stuart, 1992; González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010). Tendo isto como princípio fundamental, Badillo e os colegas em 1995 apresentam o conceito de carácter de esforço (CE), que no fundo é uma representação de intensidade relativa, onde os autores procuram avaliar o grau de esforço de uma série relacionando-o com a proximidade(número de repetições restantes) à falha muscular concêntrica (González Badillo & Gorostiaga Ayestarán, 1995; Sánchez-Moreno et al., 2017). Mais recentemente, o conceito de repetições de reserva tem sido muito associado a escalas de perceção de esforço(RPE) com o objetivo de dar maior aplicabilidade ao conceito no seu contexto prático(Helms et al., 2016, 2017; Zourdos et

al., 2016). Mas Badillo e os colegas procuram um meio mais objectivo de aferir o CE, e para tal usam a velocidade como instrumento de análise ao rendimento do atleta. O autor define a ACV da primeira repetição (realizada à máxima velocidade possível), e a perda de ACV durante a série como sendo os dados que mais fazem representar o esforço exercido durante a ação (Sánchez-Moreno et al., 2017).

Estando no contexto do treino de força, é expectável que quanto mais próximo a carga seleccionada esteja do valor de 1RM menor será a ACV. Estes dois fatores têm uma relação inversamente proporcional, visto que a AVC tende a diminuir em conformidade com o aumento da percentagem do 1RM. A esta relação dá-se o nome de perfil de velocidade, sabemos que o mesmo varia conforme o exercício e podem ainda existir diferenças entre indivíduos. Contudo, para o mesmo sujeito e no mesmo exercício, o perfil de velocidade parece manter-se inalterado mesmo quando se dá aumento da 1RM (Fahs et al., 2019; González-Badillo et al., 2011; González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010).

Medina e Badillo no seu trabalho em 2011, recorreram à medição de ACV para quantificar o acúmulo de fadiga neuromuscular, em distintos patamares de intensidade e volumes nos movimentos de *back squat* e *bench press*. Os investigadores verificaram uma elevada correlação entre a diminuição da ACV ao longo das três séries do protocolo experimental e a diferença da ACV do pré para o pós exercício. Para o *back squat* houve uma relação entre a percentagem de redução do *countreer movment jump* (CMJ) e diminuição da ACV. Verificaram ainda uma boa relação entre o aumento de lactato e a diminuição de AVC, lactato este que respondeu de forma linear ao aumento da intensidade relativa, ou seja, as séries mais próximas da falha muscular concêntrica foram as que originaram uma maior produção de lactato (Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011).

OBJETIVOS DO ESTUDO

O principal objetivo deste estudo é verificar a relação entre a saturação de oxigénio muscular (SmO_2) no vasto lateral e o intervalo de repouso com recurso à análise do desempenho num protocolo de treino com o objetivo de melhorar a capacidade de produção de força máxima no movimento *back squat*.

MÉTODOS E MATERIAIS

PROTOCOLO EXPERIMENTAL

A experiência foi dividida em dois momentos, sendo estes distanciados por um mínimo de três dias, em que foram realizadas duas simulações de um treino orientado para a melhoria da capacidade de produção de força.

No primeiro momento/sessão, e previamente ao início do protocolo de treino experimental, os sujeitos foram inquiridos sobre o historial de treino e outras variáveis demográficas (idade) e cineantropométricas (estatura, massa corporal).

Em ambos protocolos de treino, os participantes começam por realizar um aquecimento geral, composto por cinco minutos num cicloergómetro a uma velocidade autorregulada, e cinco minutos de mobilidade articular. De seguida iniciam um aquecimento específico do exercício back squat, composto por cinco séries intervaladas com cinco a oito minutos de descanso passivo: 10 repetições a 20% 1RM; 5 repetições a 40% de 1RM; 3 repetições a 60% de 1RM; 1 repetição a 80% de 1RM; 1 repetição a 90% de 1RM. Durante esta rotina, os participantes são instruídos pelo investigador relativamente aos critérios a observar na execução do movimento. Após oito minutos da finalização do aquecimento específico os participantes iniciam o protocolo experimental, composto por: 5 séries de 3 repetições a 83% de 1RM com descanso passivo a ser cronometrado entre cada série.

O valor de 1RM para cada indivíduo foi estimado a partir do seu perfil de velocidade recolhido durante as séries de aquecimento específico na primeira sessão de treino (Banyard et al., 2017; Jidovtseff et al., 2011; Sánchez-Medina et al., 2017). O mesmo, é posteriormente utilizado para obter a carga de testes (83% do 1RM) para ambas as sessões experimentais.

Durante as cinco séries, era espectável uma notória resposta à fadiga imposta pelos sucessivos esforços. O valor de 83% da 1RM para três repetições, representa um esforço submáximo (em média 6 a 7 repetições máximas em atletas treinados, que equivalem a 3 a 4 repetições de reserva), o que permite aos sujeitos completarem o protocolo de 5 séries, sendo expectável o aumento da perceção de esforço ao longo do treino (Brzycki, 1993; Richens & Cleather, 2014).

A distinção entre os protocolos de treino está presente em uma única variável, a tipologia de gestão dos intervalos de recuperação. No primeiro treino foi aplicado o

protocolo de treino tipo 1 (PT1), em que os tempos de recuperação entre séries foram cronometrados num tempo fixo de oito minutos. Já num segundo momento da experiência, o protocolo de treino tipo 2 (PT2) regula os tempos de descansos entre séries pela recuperação da disponibilidade do oxigénio muscular através das medições de um dispositivo NIRS. Onde utiliza dados recolhidos durante o PT1 e a posterior análise individual, para identificar o tempo e os valores óptimos de reoxigenação do tecido muscular, que serão tidos como referência para o controle dos tempos de descanso entre séries.

MATERIAL

Serão os utilizados os seguintes instrumentos:

- a) Sistema de medição de saturação de oxigénio muscular Humon Hex (Farzam et al., 2018),
- b) um emissor de frequência cardíaca Polar H7,
- c) o analisador portátil de lactato capilar (Lactate Pro),
- d) o sistema de medição de força dinâmica (Cronojump),
- e) uma barra olímpica com os respetivos pesos e suporte para a barra de agachamento,
- f) uma balança digital (seca Bella 840),
- g) estadiómetro portátil (Harpendel, modelo 98.603),

CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

Tabela 1. Estatística descritiva das variáveis Idade, Estatura, Massa Corporal, Rácio 1RM/massa corporal e volume da coxa.

	M	Dp	Min	Max
Idade (Anos)	24,1	2,68	20,7	28,4
Estatura (cm)	147	71,4	1,92	181
Massa corporal (kg)	83,9	8,93	68,9	95,1
Rácio 1RM/MC	1,96	0,319	1,54	2,39

A amostra é constituída por seis sujeitos do sexo masculinos com experiência e recente frequência de prática *powerlifting* (média \pm DP: idade, $24,1 \pm 2,68$ anos; estatura, $147 \pm 71,4$ cm; massa corporal, $83,9 \pm 8,93$ kg). Nenhum dos indivíduos apresenta um histórico de lesão nos três meses prévios ao início presente experiência bem como qualquer outra limitação que pudesse influenciar a sua participação. O estudo foi

realizado em conformidade com os princípios éticos e aprovado pela comissão de ética da Faculdade de Ciências do Desporto e Educação Física da Universidade de Coimbra. Todos os sujeitos foram previamente informados sobre os riscos e possíveis desconfortos a que seriam expostos durante os testes, e assinaram um termo de consentimento informado.

PROCEDIMENTOS

A determinação indireta da repetição máxima (1RM) no movimento de back squat foi feita com recurso ao perfil de força de cada indivíduo no presente movimento. Este perfil, é obtido durante as séries de aquecimento específico que progridem de uma carga de 20% de 1RM até 90% do 1RM (ligeiramente acima da carga de teste) para que o perfil obtido seja o mais completo fiável possível (Banyard et al., 2017). Para a estimativa é utilizada a repetição mais rápida de cada uma das séries de aquecimento, resultando num total de 5 velocidades a cargas distintas que reunidas vão originar o perfil de resistência do atleta através de uma linha de tendência no gráfico velocidade(m/s) - carga(kg). De seguida, a mesma linha de tendência é interceptada com a velocidade definida para o 1RM, de 0,23 m/s (Banyard et al., 2017; Helms et al., 2017; Weakley et al., 2021).

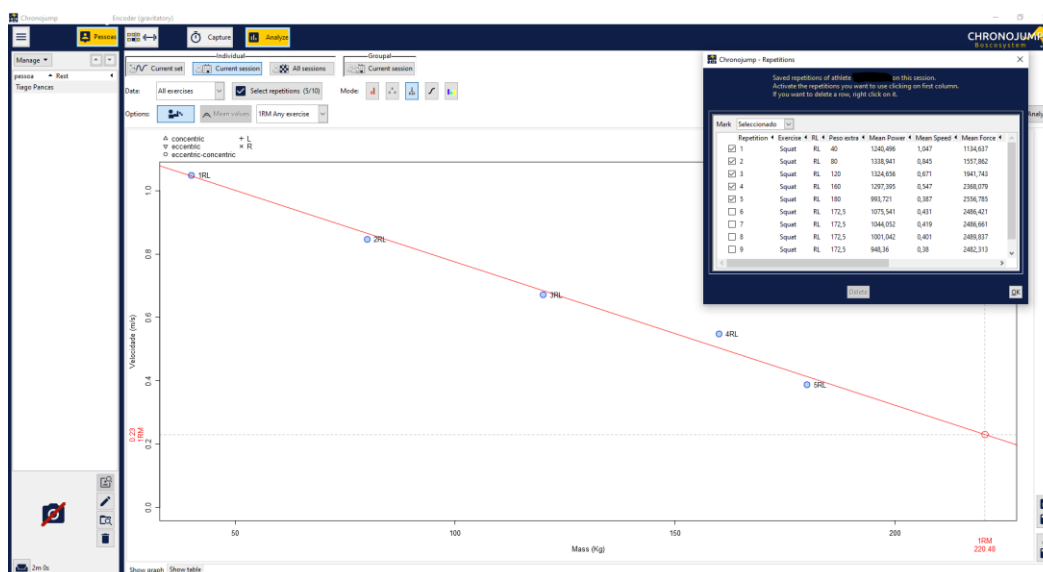


Figura 1. Exemplo de perfil força-velocidade e estimativa de uma repetição máxima calculado através do software cronojump (2.0.2).

A medição de saturação de oxigénio muscular será feita através do oxímetro *Humon hex* que irá ser posicionado sobre o Vasto lateral, 15 cm acima do topo da patela e 5 cm para o lado externo (Manchado-Gobatto et al., 2020). É utilizada uma banda elástica em torno da coxa, ficando assim o transmissor imóvel e sempre em contacto com a mesa área de pele do participante. O dispositivo recolhe e regista os dados a cada segundo, mas

também é sincronizado com a aplicação *Moxzones* no smartphone via Bluetooth disponibilizando os dados obtidos em tempo real (Farzam et al., 2018). Todos os sujeitos da amostra utilizaram o dispositivo desde o início do aquecimento até dez minutos após a última série do protocolo.

Posteriormente à recolha dos dados da dinâmica de SmO₂, foram isolados os períodos de recuperação e aplicado individualmente um modelo exponencial de associação ao valor da SmO₂, sendo calculado o tempo necessário (time delay) para que a SmO₂ atingisse de forma estável o valor estável (plateau). Na figura 1 apresentamos um exemplo aplicado.

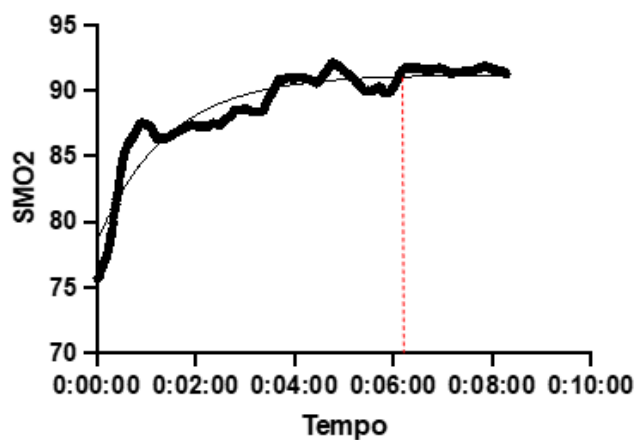


Figura 2. Figura 3. Exemplo de modelo exponencial para a obtenção do time delay na recuperação de SmO₂.

$$Y = Y_0 + (\text{Plateau} - Y_0) * (1 - \exp(-K * x))$$

Equação 2. Modelo de cálculo exponencial para o cálculo de time delay.

Posteriormente à recolha dos dados da dinâmica de SmO₂, foram isolados os períodos de recuperação e aplicado individualmente um modelo exponencial de associação ao valor da SmO₂, sendo calculado o tempo necessário (time delay) para que a SmO₂ atingisse de forma estável o valor estável (plateau). Na figura 1 apresentamos um exemplo aplicado.

Com a aplicação do modelo, obtemos para cada momento de teste quatro time delays respectivos aos quatro intervalos de recuperação entre séries. Os valores médios de time delay obtidos em PT1, definiram então o tempo de recuperação proporcionado em PT2.

O sistema de medição de força dinâmica, é colocado no solo diretamente debaixo da barra e orientado no sentido da trajetória da mesma, fazendo com que o cabo que acopla à barra fique perpendicular ao solo. As medições da velocidade média concêntrica

da barra em cada repetição, serão realizadas nas cinco séries do protocolo experimental. O decréscimo da velocidade da barra, é apresentado em percentagem da perda de velocidade através da diferença em percentagem da repetição mais rápida e repetição mais lenta de cada série.

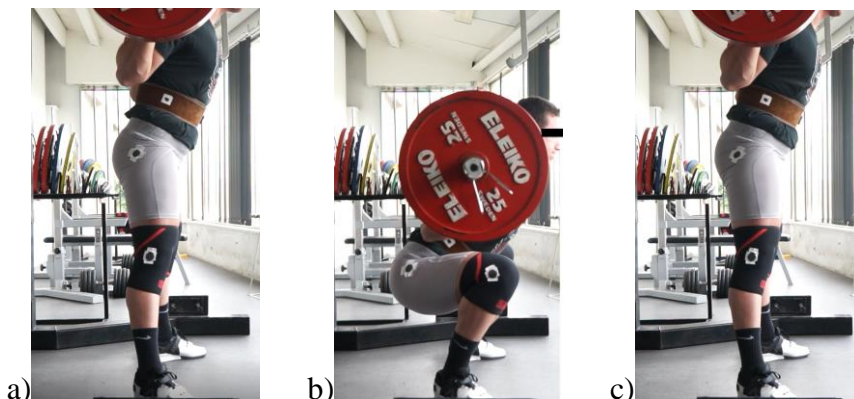


Figura 3. Representação da execução do movimento de back squat. As imagens estão ordenadas de acordo com os critérios de validação, indicando a posição inicial (a), uma posição intermédia que marca o fim da fase excêntrica e o início da fase concêntrica (b), e a posição final (c).

No exercício *back squat* descrito na figura 1, os sujeitos começam no ponto inicial do movimento na posição de pé, com a anca e joelhos em extensão, pés pouco mais afastados que a largura dos ombros e a barra deve estar em contacto a zona superior das costas do participante, ao nível dos acrômios. Cada participante desce em movimento contínuo até a crista ilíaca passar a face proximal da patela. Só depois o atleta deve reverter o movimento e voltar à posição vertical terminando com os segmentos perna, coxa e tronco alinhados. A execução pretendida para o movimento de *back squat*, é apresentada oralmente aos participantes antes dos mesmos iniciarem o aquecimento. O cumprimento dos critérios de movimento é o fator de validação para as repetições durante a experiência.

Foram recolhidas micro amostras de sangue capilar do lóbulo da orelha para determinação do lactato sanguíneo, através do monitor portátil Lactate Pro® (Dor et al., 2014). Este aparelho utiliza uma amostra de 5 µl (gota) de sangue capilar e devolve o valor da concentração de lactato sanguíneo em um minuto. A primeira recolha é realizada imediatamente antes da primeira série do protocolo experimental, e a partir desse momento serão recolhidas amostras de sangue logo após cada esforço e no final de cada período de repouso (antes de iniciar a série seguinte).

A frequência cardíaca foi recolhida através de um emissor de frequência cardíaca Polar H7, que emparelhado também com a aplicação *Moxzones* no smartphone via

Bluetooth. Os dados serão recolhidos e registados a cada segundo. Ambos os protocolos utilizam o dispositivo desde o início do aquecimento até dez minutos após a última série do protocolo.

ESCALA DE PERCEÇÃO DE ESFORÇO BASEADA EM REPETIÇÕES EM RESERVA

Após cada série dos protocolos experimentais é pedido aos participantes para perceberem o seu esforço através da escala de percepção de esforço baseada em repetições de reserva (RPE) (Helms et al., 2016; Zourdos et al., 2016).

RPE	DESCRIÇÃO
10	Não Consigo fazer mais repetições, nem colocar mais peso
9,5	Não Consigo fazer mais repetições, talvez consiga fazer com mais peso
9	Consigo fazer mais 1 repetição
8,5	Consigo fazer mais 1, talvez 2 repetições
8	Consigo fazer mais 2 repetições
7	Consigo fazer mais 2 repetições
6	Consigo fazer mais 3 repetições
5	Consigo fazer mais 4 repetições
1-4	Esforço mínimo

Figura 4. Escala de percepção de esforço baseada em repetições em reserva. Adaptado de Zourdos et al., 2016 (Zourdos et al., 2016).

ESTATÍSTICA

Na análise estatística dos dados utilizámos o software GraphPad PRISM (Mac OS 9.2.0) para calcular a estatística descritiva apresentando assim os valores médios, desvio padrão, mínimos e máximos.

Para estatística comparativa entre os dois momentos experimentais, recorreremos ao teste de Wilcoxon.

O teste de Friedman (ANOVA para medidas repetidas não paramétricas), foi aplicado para fazer a análise das diferenças entre as cinco séries dentro de cada momento.

Tendo em conta a dimensão da amostra e visto que recorreremos a uma estatística conservadora não paramétrica, definimos o grau de significância como $p < 0,05$.

Durante o período de recuperação foi aplicado um modelo exponencial de associação ao valor da SmO_2 , sendo calculado o tempo necessário (time delay) para que a SmO_2 atingisse de forma estável o valor estável (plateau).

RESULTADOS

Tabela 2. Tempo entre o final da repetição/série até o valor SmO₂ estabilizar (Time delay).

Sujeito	PT 1	PT 2
1	351,250	285,000
2	287,500	288,000
3	342,750	337,250
4	442,000	405,750
5	351,000	284,250
6	407,500	364,000

Em tabela 2 apresentamos a comparação dos valores em *time delay* nos dois momentos experimentais. Podemos observar que em PT2 os valores são na sua maioria menores que os valores obtidos para PT1, estando apenas o sujeito número dois fora deste padrão.

Tabela 3. Estatística descritiva das variáveis percentagens de SmO₂, time delay, percentagem da recuperação de SmO₂, lactato, frequência cardíaca e percentagem da recuperação da frequência cardíaca.

	PT 1				PT 2			
	M	Dp	Min	max	M	Dp	Min	max
SmO₂ (%)	79,7	7,55	70,1	92,5	76,3	5,33	66,8	80,5
Time Delay (s)	364	54,1	288	442	327	50,6	284	406
Rec SmO₂ (%)	13,7	4,84	8,37	20,1	20,4	5,35	14,5	28,1
Lactato (mmol.L⁻¹)	4,78	1,3	2,52	6,18	5,02	3,04	1,86	10,4
Tempo rec FC (s)	281	76	177	366	193	51	107	232
Rec FC (%)	52,3	5,41	46,1	59,4	51,7	8,14	42,5	60,2

Na presente tabela apresentamos os resultados de variáveis que melhor descrevem o processo de recuperação, onde não se verificam diferenças entre momentos. Contudo, em variáveis relativas à dinâmica de SmO₂, observamos o valor absoluto mais alto em PT1, mas tanto o *time delay* como a percentagem de recuperação apresentam valores mais positivos em PT2. As concentrações de lactato apresentam um valor bastante similar em PT1 e PT2. Já a frequência cardíaca demonstra recuperações mais rápidas em PT2, sendo que a percentagem de recuperação acaba por ser semelhante à PT1.

Tabela 4. Estatística descritiva das variáveis percentagens da velocidade média concêntrica perdida (ACV), percepção de esforço (RPE) e repetição máxima estimada (eRM).

	PT 1				PT 2			
	M	Dp	Min	max	M	Dp	Min	max
ACV perdida (%)	50,6	24,8	22,7	96,9	42,2	14,2	26,6	61,8
RPE (Cr10)	8,48	0,917	7,18	9,4	8,23	0,686	7,46	9,1
eRM (Kg)	165	31,8	133	216	163	31,8	133	216

Em tabela 4 constam variáveis ligadas à caracterização da performance. Também aqui não foram encontradas diferenças entre PT1 e PT2, de notar que PT1 apresenta maior perda de ACV que PT2.

Tabela 5. Estatística comparativa das variáveis velocidade média, percentagem de velocidade perdida e concentração de lactato.

	PT1					PT2				
	Série 1	Série 2	Série 3	Série 4	Série 5	Série 1	Série 2	Série 3	Série 4	Série 5
Vel média (m.s⁻¹)	0,369±0,075	0,344±0,124	0,37±0,039	0,331±0,035	0,33±0,032	0,377±0,018	0,365±0,050*	0,345±0,044	0,327±0,045	0,331±0,041
Perda de vel (%)	14,6±7,86#	20,3±3,67	19,1±4,32	22±5,06	25,8±9,79	18,4±4,92	19,6±6,34	23,5±8,39	21,7±6,43	23,5±9
Lactato (mmol.L⁻¹)	3,7±0,925§	3,783±1,107	4,633±1,942	5,217±2,503	6,583±2,502	4,250±1,904	3,900±1,536	4,900±2,794	6,400±5,887	5,667±3,852

Legenda: *, p<0,05 comparando com a série 4 do PT2; #, p<0,05 comparando com a série 5 do PT1; §, p<0,05 comparando com a série 5 de PT1.

Foi encontrada diferença significativa entre a segunda e quarta série do PT 2 na variável ACV, apresentando um valor de F=15,6 p=0,004 (z=3,10; p<0,05). Também na percentagem de perda de ACV, encontramos diferenças significativas, mais especificamente entre a primeira e quinta série do PT1 com valores F=12,7 e p=0,013 (z=3,10; p<0,05). Relativamente à concentração de lactato, observamos que existem diferenças significativas entre a primeira e quinta série de PT1 sendo F=10,0 e p=0,04 (z=2,83; p<0,05)

DISCUSSÃO

O presente estudo teve como objetivo averiguar se a saturação de oxigênio muscular do músculo vasto lateral pode ser um marcador útil para a gestão de intervalos de recuperação entre esforços de força máxima (83%) no exercício de *back squat*. Assim, a experiência dividiu-se em dois momentos (PT1 e PT2), onde foi aplicado um mesmo esquema treino, com as mesmas cargas e organização de volume. A única variação ao protocolo de treinos dá-se no tempo do intervalo de recuperação. Em PT1 os sujeitos foram impostos a um intervalo fixo de 8 minutos, e para PT2 o intervalo de cada sujeito foi modificado para o valor de *time delay* para a recuperação de SmO₂ verificado em PT1 (Tabela 1). A comparação entre os dois momentos parece não revelar uma diferença na capacidade de performance da amostra.

Os nossos resultados não indicam diferenças entre momentos para os indicadores de recuperação presentes na tabela 3. Na análise da cinética da %SmO₂ ao longo dos protocolos de treino, os dados sugerem que durante o período de recuperação seguido do esforço, permitiu sempre uma recuperação completa pois os valores de *time delay* demonstram-se sempre menores aos tempos de recuperação definidos. Nos períodos de recuperação, obtemos valores médios da máxima %SmO₂ de 79,7±7.55% para PT1 e 76,3±5,33% similares aos valores registados por Davis e os colegas no seu recente trabalho, onde obtiveram uma média de valores máximos de %SmO₂ para a última série de 76,3±2,3%. Embora este trabalho de Davis utilize um esquema de volume e intensidade distantes das nossas (3 séries de 15 repetições a 70% do 1RM), a dinâmica da concentração de SmO₂ apresenta-se semelhante ao encontrado no nosso estudo (Davis et al., 2020).

Tendo em conta que nesta experiência a recuperação dos níveis SmO₂ esteve garantida em ambos os momentos, e sendo a mesma um forte indicador da Ressíntese de PCr (Mahler, 1985; McCully et al., 1994). É possível afirmar que em ambos os momentos de teste foram proporcionados tempos de recuperação que permitiram aos sujeitos ressintetizar as reservas de PCr. Isto faz com que uma possível alteração ao rendimento pudesse ter a origem em outros fatores indutores de fadiga como a capacidade de ativação nervosa, a acumulação de metabolitos como o lactato (Abdessemed et al., 1999; Enoka & Stuart, 1992).

Tendo em conta que houve uma redução no tempo de recuperação de PT1 para PT2 consistente em todos os sujeitos, o indicador mais relevante de uma recuperação insuficiente seria a capacidade de manter ou não os níveis de performance. Mas quando comparamos o rendimento dos sujeitos entre momentos, não foram encontradas diferenças na ACV médias nem na percepção de esforço através da escala RPE (Tabela 4). Apesar de terem sido reduzidos os tempos de recuperação foi possível manter os níveis de performance, o que nos leva a querer que os tempos de recuperação em PT2 permitiram uma recuperação suficiente.

Ao analisarmos a percentagem de perda de ACV, os dados sugerem que para ambos o momento não terá havido uma diferença significativa (Tabela 4). Sendo a perda de velocidade apontada por diversos autores como um indicador de fadiga neuromuscular (González-Badillo et al., 2011; Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011; Sánchez-Moreno et al., 2017; Weakley et al., 2021), os dados indicam-nos que entre os dois momentos não houve diferenças na acumulação de fadiga, o que mais uma vez sugere que os tempos de recuperação permitiram aos sujeitos manter os seus níveis de performance em PT2 relativamente a PT1. Mas quando olhamos dentro de cada momento, e mais precisamente em PT1, percebemos um aumento de perda de ACV quando comparamos a primeira e quinta série dentro deste mesmo momento (Tabela 5). Esta é uma reação já esperada, como o decorrer do protocolo de treino é expectável níveis de fadiga maiores na quinta e última série. Neste momento os sujeitos foram expostos a todo o volume de trabalho anterior e por consequência apresentam maiores níveis de fadiga que podem ter um impacto significativo nos rendimentos (Brocherie et al., 2015; Enoka & Stuart, 1992). Esta diminuição de rendimento que no neste contexto de esforço é representada por uma menor capacidade de produzir força, e por consequência gerar menor velocidade, que é também um indicador de aumento do carácter de esforço. González-Badillo criou a relação entre o carácter de esforço e a percentagem de perda de AVC para avaliar a fadiga induzida pela prática de treino de força. Segundo o autor a primeira série de PT1 ($14,6 \pm 7,86\%$) tem um carácter de esforço classificado como “médio” e a quinta série ($25,8 \pm 9,79\%$) apresenta um carácter de esforço “alto ou muito alto” (González-Badillo et al., 2017).

Tal como a percentagem de ACV, as concentrações de lactato não apresentam diferenças entre momentos. Mas foi possível verificar um aumento dos níveis de lactato entre a primeira série de PT1 ($3,7 \pm 0,925 \text{ mmol.L}^{-1}$) e a quinta série de PT2 ($6,583 \pm 2,502$

mmol.L⁻¹) (Tabela 5). Esta resposta de lactato parece estar em conformidade com o aumento da percentagem de perda de velocidade. Ambas as variáveis são indicadoras do aumento do carácter de esforço, embora não tenhamos encontrado a mesma reação na percepção de esforço através da escala RPE (González-Badillo et al., 2011; González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Wirtz et al., 2014). Os dados sugerem que em PT1 terá havido um aumento do carácter de esforço, querendo isto dizer que os sujeitos tiveram mais dificuldade em completar a última série de PT1.

Já em PT2 não verificamos a mesma dinâmica no aumento do carácter de esforço. Encontramos sim uma diferença na ACV entre a segunda e quarta série tendo a mesma diminuído e indicando uma diminuição no rendimento que posteriormente melhorou na série número cinco. Os restantes indicadores de carácter de esforço, percentagem de perda de velocidade, concentrações de lactato e RPE não apresentam a mesma reação o que torna a presente diminuição de velocidade, difícil de fundamentar. Mas embora estas variáveis não apresentem diferenças significativas entre séries é possível em ambos os momentos observar uma reação ao acúmulo de fadiga. É possível verificar um uma tendência na diminuição de ACV ao longo dos treinos, bem como, aumento da perda de velocidade e concentrações de lactato.

Em PT 1 os dados parecem indicar maior acúmulo de fadiga que em PT2, esta não seria a expectativa mais lógica visto que em PT2 os intervalos de recuperação são mais curtos. Um dos fatores que pode ter impactado a performance em PT2 pode ser a habituação ao protocolo. Como o PT1 foi realizado sempre antes do PT2 os testes ocorreram entre três a vinte dias de diferença. Terá de ser levantada a hipótese de que poderá ter havido algum tipo de habituação ao protocolo, devendo-se esta a adaptações fisiológicas inerentes ao treino. Ou ao maior grau de confiança por parte da amostra visto que já tinham sido expostos ao protocolo, e teriam maior noção da sua capacidade face às cargas.

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos através do presente estudo, que consistiu na modificação de tempos de recuperação posterior à análise individual da dinâmica da saturação muscular. Demonstram que a diminuição dos tempos de recuperação definida pelo valor de *Time delay* em PT1, não teve um significativo impacto na performance quando comparamos o rendimento da amostra entre PT1 e PT2. A análise das variáveis de recuperação (Tabela 3) demonstra que em PT2 os sujeitos tiveram uma recuperação mais eficiente pois foi-lhes proporcionado uma recuperação mais curta, mas com duração suficiente para que todos os indicadores de recuperação retornassem a níveis representativos de uma recuperação completa.

Neste estudo, podemos apenas concluir que a recuperação da variável saturação de oxigénio muscular do músculo vasto lateral, é um bom indicador de recuperação para treinos com cargas altas (80-85%), e com carácter de esforço médio a muito alto, no exercício de *back squat*.

É importante afirmar, que a recuperação de oxigenação muscular pode não representar o tempo de descanso entre séries mais eficiente, é possível que mesmo tendo sido otimizados os tempos de recuperação entre momentos, os mesmos continuem a ser excessivos. Contudo, o tempo necessário para recuperação de oxigenação muscular desmontou ser suficiente para a recuperação de outros fatores que pudessem pôr em risco o rendimento da amostra. Como a capacidade de ativação nervosa máxima voluntária, e a remoção de metabólitos como lactato.

BIBLIOGRAFIA

- Abdessemed, D., Duche, P., Hautier, C., Poumarat, G., & Bedu, M. (1999). Effect of recovery duration on muscular power and blood lactate during the bench press exercise. *International Journal of Sports Medicine*, 20(6), 368–373. <https://doi.org/10.1055/s-2007-971146>
- Baker, J. S., McCormick, M. C., & Robergs, R. A. (2010). *Interaction among Skeletal Muscle Metabolic Energy Systems during Intense Exercise*. 2010(Figure 1). <https://doi.org/10.1155/2010/905612>
- Banyard, H. G., Nosaka, K., & Haff, G. G. (2017). Reliability and Validity of the Load-Velocity Relationship to Predict the 1RM Back Squat. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(7), 1897–1904. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001657>.
- Beneke, R., Leithäuser, R. M., & Ochentel, O. (2011). Blood lactate diagnostics in exercise testing and training. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 6(1), 8–24. <https://doi.org/10.1123/ijsp.6.1.8>
- Bigland, B. B., & Lippold, C. J. (1953). V(. 214–224.
- Bogdanis, G. C., Nevill, M. E., Boobis, L. H., & Lakomy, H. K. A. (1996). Contribution of phosphocreatine and aerobic metabolism to energy supply during repeated sprint exercise. *Journal of Applied Physiology*, 80(3), 876–884. <https://doi.org/10.1152/jappl.1996.80.3.876>.
- Brocherie, F., Gregoire, ·, Millet, P., Girard, O., Brocherie, F., Millet, G. P., Girard, · O, & Girard, O. (2015). Neuro-mechanical and metabolic adjustments to the repeated anaerobic sprint test in professional football players. *Eur J Appl Physiol*, 115, 891–903. <https://doi.org/10.1007/s00421-014-3070-z>.
- Brzycki, M. (1993). Strength Testing—Predicting a One-Rep Max from Reps-to-Fatigue. *Journal of Physical Education, Recreation & Dance*, 64(1), 88–90. <https://doi.org/10.1080/07303084.1993.10606684>.
- Copenhagen, T. (1996). *Lactate / proton co-transport in skeletal muscle : regulation and importance for pH homeostasis*. 369–374.
- Davis, P. R., Yakel, J. P., & Anderson, D. J. F. (2020). Muscle oxygen demands of the vastus lateralis in back and front squats. *International Journal of Exercise Science*, 13(6), 734–743. <http://www.intjexersci.com>
- De Blasi, R. A., Cope, M., Elwell, C., Safoue, F., & Ferrari, M. (1993). Noninvasive measurement of human forearm oxygen consumption by near infrared spectroscopy. In *Eur J Appl Physiol* (Vol. 67).
- Dor, E., Boulay, G., & Francoz, D. (2014). *Validation of the handheld Lactate-Pro analyzer for measurement of blood L-lactate concentration in cattle*. 4, 567–572. <https://doi.org/10.1111/vcp.12185>.
- Ellers, J. O. H. N. S., Ooner, J. O. S. H. L. N., Chnaiter, J. E. A. S., Illiams, K. A. E. B. O. N. D., Arter, A. D. S. C., Oss, C. O. L. R., Ust, B. R. L. J., Enselmans, M. E. H., & Rieger, J. A. W. K. (2016). Longer Interset Rest Periods Enhance Muscle Strength and Hypertrophy in Resistance-Trained Men. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(7), 1805–1812.
- Enoka, R. M., & Stuart, D. G. (1992). Neurobiology of muscle fatigue. <https://doi.org/10.1152/Jappl.1992.72.5.1631>, 72(5), 1631–1648. <https://doi.org/10.1152/JAPPL.1992.72.5.1631>.
- Everett, H. (1993). *Strength and power: a definition of terms*. National Strength and

- Conditioning Association Journal: December 1993 - Volume 15 - Issue 6 - p 18-21.
- Fahs, C. A., Blumkaitis, J., & Rossow, L. (2019). *FACTORS RELATED TO AVERAGE CONCENTRIC VELOCITY OF FOUR BARBELL EXERCISES AT VARIOUS LOADS*. *33*(3), 597–605.
- Farzam, P., Starkweather, Z., & Franceschini, M. A. (2018). Validation of a novel wearable, wireless technology to estimate oxygen levels and lactate threshold power in the exercising muscle. *Physiological Reports*, *6*(7), 1–14. <https://doi.org/10.14814/phy2.13664>.
- Feldmann, A., Schmitz, R., & Erlacher, D. (2019). Near-infrared spectroscopy-derived muscle oxygen saturation on a 0% to 100% scale: reliability and validity of the Moxy Monitor. *Journal of Biomedical Optics*, *24*(11), 1. <https://doi.org/10.1117/1.jbo.24.11.115001>.
- Frca, B. P., Tom, J. M., & Mrcp, P. (2006). *Lactate physiology in health and disease*. *6*(3), 128–132. <https://doi.org/10.1093/bjaceaccp/mkl018>
- Gastin, P. B. (2001). *Energy System Interaction and Relative Contribution During Maximal Exercise*. *31*(10), 725–741.
- González-Badillo, J. J. (2002). *Bases de la programación del entrenamiento de fuerza - Juan José González Badillo, Juan Ribas Serna - Google Libros*.
- González-Badillo, J. J., Medina-Sánchez, L., Pareja-Blanco, F., & Rodríguez-Rosell, D. (2017). La velocidad de ejecución como referencia para la programación , control y evaluación del entrenamiento de fuerza. In *Ergotech* (p. 202).
- González-Badillo, Marques, M. C., & Sánchez-Medina, L. (2011). The Importance of Movement Velocity as a Measure to Control Resistance Training Intensity. *Journal of Human Kinetics*, *29A*(Special Issue), 15. <https://doi.org/10.2478/V10078-011-0053-6>.
- González-Badillo, & Sánchez-Medina, L. (2010). Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training. *International Journal of Sports Medicine*, *31*(5), 347–352. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1248333>.
- González Badillo, J. J., & Gorostiaga Ayestarán, E. (1995). *Fundamentos del entrenamiento de la fuerza, aplicación al alto rendimiento deportivo : texto básico del máster universitario en alto rendimiento deportivo del Comité Olímpico Español y de la Universidad Autónoma de Madrid*. 303.
- Heck, H. (1991). *The Importance of Lactate Measurement for the Determination of the Anaerobic Threshold*. 41–42.
- Helms, E. R., Cronin, J., Storey, A., & Zourdos, M. C. (2016). Application of the Repetitions in Reserve-Based Rating of Perceived Exertion Scale for Resistance Training. *Strength and Conditioning Journal*, *38*(4), 42–49. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000218>.
- Helms, E. R., Storey, A., Cross, M. R., Brown, S. R., Lenetsky, S., Ramsay, H., Dillen, C., & Zourdos, M. C. (2017). RPE and velocity relationships for the Back Squat, Bench Press, and Deadlift in Powerlifters. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *31*(2), 292–297. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001517>.
- Jidovtseff, B., Harris, N. K., Crielaard, J. M., & Cronin, J. B. (2011). Using the load-velocity relationship for 1RM prediction. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *25*(1), 267–270. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181b62c5f>
- Knuttggen, H., Hospital, S. R., & Kraemer, W. J. (1987). *Terminology and Measurement in Exercise Performance*. February. <https://doi.org/10.1519/00124278-198702000-00001>.
- Kounalakis, S. N., Bayios, I. A., Koskolou, M. D., & Geladas, N. D. (2008). Anaerobic capacity of the upper arms in top-level team handball players. *International Journal*

- of *Sports Physiology and Performance*, 3(3), 251–261. <https://doi.org/10.1123/ijsp.3.3.251>.
- Kujach, S., Ziemann, E., Grzywacz, T., Luszczuk, M., Smaruj, M., Dzedzej, A., & Laskowski, R. (2016). Muscle oxygenation in response to high intensity interval exercises among high trained judokas. *Isokinetics and Exercise Science*, 24(3), 263–275. <https://doi.org/10.3233/IES-160631>
- Mahler, M. (1985). *First-Order Kinetics of Muscle Oxygen Consumption , and an Equivalent Proportionality Between $\dot{Q} O_2$ and Phosphorylcreatine Level Implications for the Control of Respiration*. 86(July).
- Manchado-Gobatto, F. B., Marostegan, A. B., Rasteiro, F. M., Cirino, C., Cruz, J. P., Moreno, M. A., & Gobatto, C. A. (2020). New Insights into Mechanical, Metabolic and Muscle Oxygenation Signals During and After High-Intensity Tethered Running. *Scientific Reports*, 10(1), 1–14. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-63297-w>.
- McCully, K. K., Iotti, S., Kendrick, K., Wang, Z., Posner, J. D., Leigh, J., & Chance, B. (1994). Simultaneous in vivo measurements of HbO₂ saturation and PCr kinetics after exercise in normal humans. *Journal of Applied Physiology*, 77(1), 5–10. <https://doi.org/10.1152/jappl.1994.77.1.5>.
- Mcmahon, S., & Jenkins, D. (2002). *Factors Affecting the Rate of Phosphocreatine Resynthesis Following Intense Exercise*. 32(12), 761–784.
- Mendez-Villanueva, A., Edge, J., Suriano, R., Hamer, P., & Bishop, D. (2012). The Recovery of Repeated-Sprint Exercise Is Associated with PCr Resynthesis, while Muscle pH and EMG Amplitude Remain Depressed. *PLoS ONE*, 7(12). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0051977>
- Nioka, S., Moser, D., Lech, G., Evengelisti, M., Verde, T., Chance, B., & Kuno, S. (1998). Muscle deoxygenation in aerobic and anaerobic exercise. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 454, 63–70. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-4863-8_8
- Parolin, M. L., Chesley, A., Matsos, M. P., Spriet, L. L., Jones, N. L., & Heigenhauser, G. J. F. (1999). Regulation of skeletal muscle glycogen phosphorylase and PDH during maximal intermittent exercise. *American Journal of Physiology - Endocrinology and Metabolism*, 277(5), 40–5. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.1999.277.5.e890>.
- Peos, J. J., Norton, L. E., Helms, E. R., Galpin, A. J., & Fournier, P. (2019). *Intermittent Dieting : Theoretical Considerations for the Athlete*. 1–26. <https://doi.org/10.3390/sports7010022>.
- Perrey, S., & Ferrari, M. (2018). Muscle Oximetry in Sports Science: A Systematic Review. *Sports Medicine*, 48(3), 597–616. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0820-1>.
- Ratamess, N. A., Falvo, M. J., Mangine, G. T., Ho, J. R., Faigenbaum, A. D., & Kang, J. (2007). *The effect of rest interval length on metabolic responses to the bench press exercise*. 1–17. <https://doi.org/10.1007/s00421-007-0394-y>.
- Richens, B., & Cleather, D. J. (2014). The relationship between the number of repetitions performed at given intensities is different in endurance and strength trained athletes. *Biology of Sport*, 31(2), 157–161. <https://doi.org/10.5604/20831862.1099047>.
- Robergs, R. A., Ghiasvand, F., & Parker, D. (2004). Biochemistry of exercise-induced metabolic acidosis. *American Journal of Physiology - Regulatory Integrative and Comparative Physiology*, 287(3), 56–3, 502–516. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00114.2004>.
- Sahlin, et al. (1979). *Resynthesis of creatine phosphate in human muscle after exercise in relation to intramuscular pH and availability of oxygen*. 551–557.

- Sahlin, K. (1991). Control of energetic processes in contracting human skeletal muscle. *Biochemical Society Transactions*, 19(2), 353–358. <https://doi.org/10.1042/bst0190353>.
- Sánchez-Medina, L., & González-Badillo, J. J. (2011). Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(9), 1725–1734. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e318213f880>.
- Sánchez-Medina, L., Pallarés, J., Pérez, C., Morán-Navarro, R., & González-Badillo, J. (2017). Estimation of Relative Load From Bar Velocity in the Full Back Squat Exercise. *Sports Medicine International Open*, 01(02), E80–E88. <https://doi.org/10.1055/s-0043-102933>.
- Sánchez-Moreno, Rodríguez-Rosell, Pareja-Blanco, Mora-Custodio, & González-Badillo. (2017). Movement Velocity as Indicator of Relative Intensity and Level of Effort Attained During the Set in Pull-Up Exercise. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(10), 1378–1384. <https://doi.org/10.1123/IJSP.2016-0791>.
- Scholkmann, F., Kleiser, S., Metz, A. J., Zimmermann, R., Mata Pavia, J., Wolf, U., & Wolf, M. (2014). A review on continuous wave functional near-infrared spectroscopy and imaging instrumentation and methodology. *NeuroImage*, 85, 6–27. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.05.004>.
- Siff, M. C. (2001). *Chapter 6 Biomechanical Foundations of Strength and Power Training*.
- Søgaard, K., Gandevia, S. C., Todd, G., Petersen, N. T., & Taylor, J. L. (2006). *The effect of sustained low-intensity contractions on supraspinal fatigue in human elbow flexor muscles*. 2, 511–523. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2005.103598>.
- Spriet, L. L. (2014). *Anaerobic metabolism in human skeletal muscle during short-term, intense activity*. May. <https://doi.org/10.1139/y92-023>.
- Tesch, P. A., Colliander, E. B., & Kaiser, P. (1986). *PhysiolQ j.* 362–366.
- Timmons, J. A., Gustafsson, T., Sundberg, C. J., Jansson, E., Hultman, E., Kaijser, L., Chwalbinska-Moneta, J., Constantin-Teodosiu, D., Macdonald, I. A., & Greenhaff, P. L. (1998). Substrate availability limits human skeletal muscle oxidative ATP regeneration at the onset of ischemic exercise. *Journal of Clinical Investigation*, 101(1), 79–85. <https://doi.org/10.1172/JCI1146>.
- Weakley, J., Mann, B., Banyard, H., McLaren, S., Scott, T., & Garcia-Ramos, A. (2021). Velocity-based training: From theory to application. *Strength and Conditioning Journal*, 43(2), 31–49. <https://doi.org/10.1519/ssc.0000000000000560>.
- Wirtz, N., Wahl, P., Kleinöder, H., & Mester, J. (2014). Lactate kinetics during multiple set resistance exercise. *Journal of Sports Science and Medicine*, 13(1), 73–77.
- Zatsiorsky, Vladimir & Kraemer, W. (2005). *Science and Practice of Strength Training*.
- Zourdos, M. C., Klemp, A., Dolan, C., Quiles, J. M., Schau, K. A., Jo, E., Helms, E., Esgro, B., Duncan, S., Garcia Merino, S., & Blanco, R. (2016). Novel Resistance Training-Specific Rating of Perceived Exertion Scale Measuring Repetitions in Reserve. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(1), 267–275. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001049>.