UNIDADE DE ENSINO SUPERIOR DE FEIRA DE SANTANA

JOÃO PEDRO VILAS BOAS DE ALMEIDA

PERIODIZAÇÃO DE CARBOIDRATOS PARA ATLETAS E ENTUSIASTAS: UMA REVISÃO DE LITERATURA

Feira de Santana

2022

JOÃO PEDRO VILAS BOAS DE ALMEIDA

Periodização de carboidratos para atletas e entusiastas: uma revisão de literatura

Trabalho de conclusão de curso, apresentado à unidade de Ensino Superior de Feira de Santana, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Nutrição.

Orientador: Prof. Esp. Glayson Velloso

Feira de Santana

2022

A todos que puderam complementar minha formação durante a faculdade e de alguma forma agregar para meu aprendizado.

AGRADECIMENTOS

À Deus, que me guiou, deu força e esperança para continuar no caminho do bem.

À minha família, pelo apoio e incentivo dado.

À minha namorada Raquel, que me apoiou nos momentos mais difíceis e foi presente quando mais precisei.

"Onde o mundo deixa de ser palco de nossas esperanças e desejos pessoais, onde o enfrentamos como seres livres admirando, perguntando, observando, aí entramos no reino da arte e da ciência."

Albert Einstein

SUMÁRIO

RESUMO.....
PALAVRAS CHAVE.....
ABSTRACT.....
KEY-WORDS.....
1 INTRODUÇÃO 7
2 REVISÃO DE LITERATURA 8
2.1 Efeito da periodização de carboidrato no conteúdo de glicogênio muscular..... 8
2.2 Adaptações celulares induzidas pela estratégia de periodização de carboidrato..... 10
2.3 Possíveis efeitos da estratégia no desempenho esportivo..... 11
3 METODOLOGIA..... 13
3.1 Categorias de análise..... 15
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... 15
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS..... 19
REFERÊNCIAS..... 21

RESUMO

Por muito tempo o carboidrato vem sendo estudado e é relacionado com aumento de desempenho atlético. Contudo, inúmeros protocolos de administração têm sido propostos para identificar a melhor estratégia de uso. A periodização de carboidratos tem recebido uma maior atenção nos últimos anos por promover adaptações celulares positivas. Mas a literatura é diversa em relação ao aumento de desempenho per si. Compreender se a estratégia de periodização de carboidratos contribui para o aumento de desempenho. Essa revisão de literatura foi cometida por meio da busca bibliográfica realizada nas plataformas Pubmed, Biblioteca Virtual em Saúde (BVS) e *Science direct*. Para a inclusão dos artigos foram considerados os estudos que tratam da temática nos diferentes desenhos metodológicos, como: ensaios clínicos, meta analises, revisão sistemática e estudos randomizados controlados, envolvendo estudos com atletas e entusiastas, disponível na íntegra em português e inglês e excluído os estudos que não tratassem da temática ou duplicados. Foi idealizado que o treinamento com baixas quantidades de carboidrato pudesse induzir adaptações celulares, aumentar o conteúdo de glicogênio muscular e por fim aumentar o desempenho. Foi possível observar na revisão da literatura que a estratégia induziu adaptações celulares positivas, com relação ao conteúdo de glicogênio, os resultados foram mistos trazendo, em alguns aumentos e em outros, não. Contudo não foi possível observar melhora em desempenho de potência máxima ou maior tempo até a exaustão, necessitando de mais trabalhos focados em grupos não desportistas para tentar alcançar algum resultado positivo.

PALAVRAS- CHAVES: *Desempenho atlético; glicogênio; adaptações celulares; potência máxima.*

ABSTRACT

Carbohydrate has been studied for a long time and is related to increased athletic performance. However, numerous administration protocols have been proposed to identify the best use strategy. Carbohydrate periodization has received increased attention in recent years for promoting positive cellular adaptations. But the literature is diverse regarding performance enhancement per se. Understand whether the carbohydrate periodization strategy contributes to increased performance. This literature review was carried out through a bibliographic search carried out on the platforms Pubmed, Biblioteca Virtual em Saúde (BVS) and Science direct. For the inclusion of articles, studies that deal with the subject in different methodological designs were considered, such as: clinical trials, meta-analysis, systematic review and randomized controlled studies, involving studies with athletes and enthusiasts, available in full in Portuguese and English and excluding the studies that did not address the theme or were duplicates. It was envisioned that training with low amounts of carbohydrate could induce cellular adaptations, increase muscle glycogen content and ultimately increase performance. It was possible to observe in the literature review that the strategy induced positive cellular adaptations, with respect to the glycogen content, the results were mixed, in some increases and in others, not. However, it was not possible to observe improvement in maximum

power performance or longer time to exhaustion, requiring more work focused on non-sports groups to try to achieve some positive result.

KEYWORDS: *Athletic performance; glycogen; cellular adaptations; maximum power.*

1. INTRODUÇÃO

Os carboidratos (CHO) são macromoléculas de alta importância para um bom desempenho esportivo, já que elas têm como principal utilidade ser combustível para desempenhar o exercício necessário (HARGREAVES, 2015), suas funções ainda vão além quando é dito que no exercício prolongado ele vai agir na manutenção da glicose sanguínea por meio do glicogênio (ANDREWS, 2003).

Grupos de atletas, especialmente os de atividades de alta intensidade e duração, são os mais beneficiados com o alto consumo de carboidrato, e um dos maiores desafios da nutrição é o de sustentá-los durante a competição com bom aporte energético. Isso foi determinante para a criação de recomendações especiais apropriadas a esse tipo de esporte, que visam ofertar de forma diferenciada quantidades inabituais de carboidrato comparado com outros esportes (BURKE, 2010).

A periodização da ingestão de carboidratos é uma estratégia que intervala, ao longo de treinos, períodos de alta ingestão com baixa ingestão desse macronutriente e tem sido teorizada que ela possa induzir adaptações celulares mitocondriais, aumentar os estoques de glicogênio e delongar o período até a fadiga (MARQUET *et al.,* 2016).

O glicogênio muscular por sua vez tem sido bem estudado e analisado para tentar compreender se há de fato um efeito da estratégia de periodização sob seu conteúdo. Dietas ricas em carboidratos influenciam diretamente no conteúdo de glicogênio muscular, sendo benéfico para exercícios de alta intensidade (MICHALCZYK *et al.,* 2019; TOMCIK *et al.,* 2017).

Como demostrado por Gejl e Nybo. (2021), a quantidade de glicogênio muscular vai afetar diretamente os exercícios de resistência. Pela lógica, ofertar mais carboidratos poderiam maximizar esses estoques, favorecendo o desempenho. Não obstante, a estratégia de periodização de carboidrato foi apresentada como uma alternativa para aumentar as adaptações do exercício

de resistência, principalmente à nível celular (GEJL; NYBO, 2021) e com isso maximizar os ganhos.

Algumas adaptações celulares como na expressão de mTOR, AMPK (TOMCIK *et al.,* 2017), aumento da oxidação de gordura, enzimas oxidativas (MARQUET *et al.,* 2016), componentes mitocondriais, melhor função e volume mitocondrial (GEJL; NYBO., 2021) até a maior ativação de genes PDK4 e UCP3 são observadas nos trabalhos.

Embora existam evidências de adaptações celulares induzidas pela estratégia, ainda se faz necessário discutir se essas adaptações conseguem se converter em aumento de desempenho esportivo, em situações de vida real.

Com a literatura sobre a temática ainda variada e resultados clínicos mistos acerca do tópico, o presente trabalho teve como objetivo compreender a efetividade da estratégia de periodização de carboidratos no aumento de desempenho atlético.

2. REVISÃO DE LITERATURA

O carboidrato dietético é um macronutriente de suma importância para o desempenho esportivo, pincipalmente pensando na sua forma de armazenamento, o glicogênio, ele é formado de unidades de glicose que se ligam por meio de ligações glicosídicas. Com o aumentar do tempo e intensidade do exercício a necessidade do glicogênio hepático e muscular é aumentada também, para servir como substrato energético (HEARRIS *et al*., 2018).

A estratégia de periodização de carboidrato vem sendo estudada para tentar entender se o estimulo crônico dessa variação na disponibilidade de glicogênio pode levar a adaptações celulares e melhora no desempenho esportivo (MARQUET *et al.,* 2016).

2.1 EFEITO DA PERIODIZAÇÃO DE CARBOIDRATO NO CONTEÚDO DE GLICOGÊNIO MUSCULAR.

Partindo do pressuposto que a quantidade de glicogênio muscular é fator determinante para aumentar o desempenho esportivo Hargreaves (2015), se idealizou que realizar o treinamento com baixa quantidade de carboidrato dietético, mesclado com períodos de alto CHO poderiam gerar adaptações

positivas para o estoque de glicogênio muscular e por conseguinte, melhorar performance (CERMAK; VAN LOON, 2013).

A fadiga pode estar associada a depleção do glicogênio muscular (COGGAN; COYLE,1987) e por isso, estudos recentes tem buscado elucidar novas estratégias para evitar o esgotamento das reservas de glicogênio e assim evitar a fadiga precoce e perda de performance.

Foi realizado um estudo com 7 ciclistas treinados do sexo masculino, onde eles foram separados em grupo placebo e grupo de carga de carboidrato (CHO) para realizar um trajeto de 100km, a abordagem dietética se resumia em cardápios semelhantes, mas com mais carboidrato no grupo carga de carboidrato na forma de barras esportivas. Foi observado assim que o nível de glicogênio muscular foi maior no grupo carga de carboidrato, contudo, não foi possível observar diferença de performance entre os grupos estudados (BURKE *et al.,* 2000).

Outro estudo também analisou ciclistas treinados, onze deles divididos em dois grupos para tentar elucidar mais sobre a estratégia de *"sleep low"*, método que consiste em realizar um treinamento com estoques cheios de glicogênio, onde após a sessão de treinamento não há ingestão de CHO e no dia seguinte é feito um treino leve, com baixos estoques de glicogênio. Na análise, não houve medição de glicogênio muscular, contudo, os autores acreditam que o grupo com alto carboidrato tenha uma sinalização mais efetiva no cérebro para produção energética (MARQUET *et al*., 2019).

Por outro lado, vinte e seis ciclistas de elite foram divididos em dois grupos randomizados onde realizaram 4 semanas de treinamento, no qual três vezes na semana, realizavam treino com baixo ou alto carboidrato. Após os testes foram coletadas amostras do tecido muscular para detectar quantidade de glicogênio, com isso, foi observado conteúdos semelhantes entre os grupos, relacionando isso com a viabilidade da proteína como combustível para glicogênese (GEJL *et al.,* 2017) e a capacidade do músculo em regenerar glicogênio mesmo após grandes sessões de treinamento (ASTRAND *et al.,* 1986*).*

Hansen *et al.* (2004), trouxeram em seu estudo também a análise de sete homens saudáveis que realizaram exercícios de extensão de joelho, onde uma perna trabalhava no protocolo baixo carboidrato e a outra, alto carboidrato. Percebeu-se que o glicogênio muscular da perna baixo carboidrato teve um

aumento mais perceptível comparado a perna alto carboidrato, o autor traz também que o treinamento no protocolo de baixo carboidrato pode ser mais eficiente para aumentar as reservas de glicogênio muscular e com isso favorecer treinos mais eficazes.

Outro estudo buscou mostrar que a viabilidade do glicogênio muscular vai ser essencial para induzir respostas fisiológicas positivas quando em quantidades de 300 mmol/ kg (PILEGAARD *et al.,* 2005) porém níveis abaixo de 100 mmol/kg nos pós treinamento podem atrapalhar vias de síntese de proteínas e prejudicar o desempenho (IMPEY *et al.,* 2016).

Uma das adaptações foi mostrada por Pilegaard *et al. (*2002), em um estudo com 12 homens saudáveis e fisicamente ativos divididos em grupo A e B onde o conteúdo de glicogênio muscular poderia afetar diretamente a ativação da enzima piruvato desidrogenase quinase (PDK4), especialmente níveis baixos de glicogênio, a transcrição genética pode estar intimamente ligada com a utilização de substratos energéticos e recuperação do glicogênio muscular mesmo após o exercício.

Conclui-se que treinamentos com baixas quantidades de carboidrato podem impactar de forma negativa o exercício, já que com baixos estoques desse macronutriente o limiar de fadiga fica mais próximo, impedindo também a indução de adaptações positivas relativas ao treinamento. Contudo, as evidencias para adaptações no glicogênio muscular ainda são limitadas no que se refere a aumento de performance (GEJL; NYBO, 2021).

2.2 ADAPTAÇÕES CELULARES INDUZIDAS PELA ESTRATÉGIA DE PERIODIZAÇÃO DE CARBOIDRATO

As adaptações celulares foram o fator inicial para os estudos mais aprofundados da periodização o de carboidratos, logo Hansen *et al.* (2004) trouxeram em seu estudo sete jovens saudáveis não treinados divididos entre grupo alto e baixo carboidrato, com isso foram coletadas biopsias musculares para medir as enzimas mitocondriais na quinta e decima semana de treinamento. Entre as adaptações celulares observadas tiveram um aumento significativo de enzimas relacionadas com o metabolismo aeróbico a 3-hidroxiacil-CoA desidrogenase (HAD) no grupo baixo carboidrato enquanto a enzima citrato

sintase (CS), aumentou em ambos os grupos. Essa alteração foi mais pronunciada após as dez semanas de treinamento.

Gejl *et al.* (2017), por sua vez trouxeram em seu trabalho com atletas de elite divididos em grupos de baixo e alto carboidrato um exame de biopsia muscular que também analisou a função das enzimas CS e HAD, contudo suas analises mostraram aumentos semelhantes da enzima CS entre os dois grupos durante o mesmo tempo de treinamento, a enzima HAD não mostrou alteração entre os grupos, sugerindo que em atletas de elite as mudanças metabólicas podem ser menos significativas.

Focando seu estudo em determinar a influência do conteúdo de glicogênio muscular na regulação de genes metabólicos Pilegaard *et al.* (2002), elaboraram dois estudos com 6 indivíduos fisicamente ativos do sexo masculino em cada a fim de tentar elucidar mais sobre as adaptações induzidas pelo exercício. No estudo 1, Ele mostrou que na resposta ao exercício a transcrição da proteína desaclopadora mitocondrial 3 (UCP3), aumentou 2 a 3 vezes na perna controle e a com glicogênio reduzido hexoquinase 2 (HKII) e piruvato desidrogenase quinase 4 (PDK4) aumentou na perna com glicogênio reduzido.

No estudo 2 o exercício aumentou a transcrição de PDK4 e no grupo baixo glicogênio esse aumento foi ainda maior chegando a quase 6 vezes mais. O mRNA do PDK4 e UCP3 também aumentaram com o exercício no grupo baixo glicogênio, chegando a 11,4 e 3,5 vezes mais do que o grupo controle, indicando que o treinamento com baixos níveis de glicogênio podem induzir adaptações a nível celular (PILEGAARD *et al.,* 2002).

Impey *et al*. (2016), trouxeram em seu estudo a análise de 11 ciclistas amadores e recreativos realizando exercícios exaustivos com alta ou baixa disponibilidade de carboidrato resultando em supressão da atividade da proteína ribossômica quinase beta - 1 p70S6K, assim concluindo que a restrição de carboidrato pré exercício pode trazer adaptações positivas, porem o não consumo desse macronutriente no pós exercício pode prejudicar os níveis da proteína p70S6K, podendo prejudicar a produção de proteínas musculares.

2.3 POSSÍVEIS EFEITOS DA ESTRATÉGIA NO DESEMPENHO ESPORTIVO.

O carboidrato tem sido um macronutriente muito estudado atualmente, no que se refere ao aumento de desempenho principalmente de exercícios de

resistência, sendo teorizado que o treinamento com baixos estoques de glicogênio poderia induzir uma melhora de desempenho durante a competição (GEJL; NYBO, 2021).

Burke *et al*. (2000), trouxeram em seu estudo com ciclistas que no grupo que realizou a carga de carboidrato houve um aumento significativo do glicogênio muscular comparado ao grupo placebo. Não foi possível observar mudança na composição corporal nem no glicogênio pós exercício, justificado talvez pela ingestão de carboidrato durante o treino, assim como o tempo de conclusão do trajeto foi bastante semelhante, sem diferenças significativas.

Vinte e seis homens, ciclistas e atletas bem treinados também foram investigados durante 4 semanas, onde foram divididos entre dois grupos, realizando o protocolo de baixo e alto carboidrato durante 3 vezes na semana. Foi mostrado que a potência e o VO2max durante o treinamento entre os grupos aumentaram de forma semelhante, a massa corporal permaneceu inalterada entre os indivíduos, contudo a massa de gordura foi diminuída e a massa livre de gordura aumentou de forma parecida entre os grupos (GEJL *et al*., 2017).

Também realizado com ciclistas treinados (n-11) divididos em duas grupos, Marquet *et al*. (2016), alocaram um grupo para realizar uma periodização de carboidratos sob a estratégia de *"sleep low"* enquanto o outro fez uso continuo desse macronutriente. O grupo da periodização realizou o trajeto de 20km em um menor tempo comparado ao grupo controle, isso corrobora com o aumento de potência média também observado no grupo *"sleep low"*, não houveram diferenças também na oxidação de carboidrato e gordura.

Outra observação interessante medida foi acerca da percepção de esforço, que foi mais sentida pelo grupo da periodização de carboidrato, a composição corporal e massa de gordura livre e não foi afetada de forma significativa, contudo a massa de gordura foi reduzida no grupo da periodização de carboidrato (MARQUET *et al.,* 2016).

Chen *et al*. (2008), trouxeram em seu trabalho três grupos onde eles consumiam durante três dias uma carga de carboidrato de alto índice glicêmico, alta carga glicêmica (HH), baixo índice glicêmico, baixa carga glicêmica (LL) e alto índice glicêmico e baixa carga glicêmica (HL), sendo nas estratégias HH e LL ofertado 10g/kg/peso de carboidrato e na HL apenas 4g/kg/peso. Não foi

observado diferenças de tempo para completar o trajeto de 10km, apresentando melhora de performance apenas para o grupo LL.

A massa muscular também foi analisada onde não foi encontrada mudança entre os grupos HH e LL, porem foi menor no grupo HL, glicose sanguínea foi maior no grupo HH e LL do que no grupo HL, concentrações de glicerol por sua vez foram maiores no grupo HL do que no HH e LL. O autor conclui que a quantidade de carboidrato pode ter efeito mais positivo do que seu índice ou carga glicêmica (CHEN *et al.,* 2008).

Por outro lado, Hansen *et al.* (2004), trouxeram em seu estudo sete indivíduos não treinados para realizar exercícios de extensão de joelho no qual a perna obedecia ao protocolo baixo glicogênio ou alto glicogênio. Ao analisar os dados foi possível observar que a potência máxima aumentou em ambas as pernas, contudo, o tempo para exaustão foi consideravelmente maior para a perna que treinava no protocolo baixo carboidrato.

Através desses estudos é possível observar que a estratégia de periodização de carboidratos não traz benefícios adicionais em tempo de conclusão do trajeto e potência máxima. Contudo, é importante ressaltar que muitos dos estudos são feitos em condições especificas, não traduzindo a vida real imposta pelos atletas, e por isso são necessários mais trabalhos que almejem trazer uma abordagem mais verídica do dia a dia (BURKE., 2010).

3. METODOLOGIA

A revisão integrativa é um método que proporciona a síntese de conhecimento e a incorporação da aplicabilidade de resultados de estudos significativos na prática, possibilitando a inclusão de estudos experimentais e não experimentais com objetivo de ampliar o panorama de conhecimento acerca de um tema (SOUZA; SILVA; CARVALHO., 2010).

Primeiro foi realizado a definição da pergunta norteadora: “A técnica de periodização de carboidratos com ênfase na estratégia de “*train low, compete high*” resulta em maior vantagem no desempenho esportivo?”, seleção dos artigos através dos critérios de inclusão e exclusão, após, feito a sumarização dos artigos e análise dos dados através do instrumento.

A pesquisa foi realizada em setembro de 2021 através das bases de dados Pubmed, Biblioteca Virtual em Saúde (BVS) e Science direct, usando os descritores em inglês: *Carbohydrate Loading or Carbohydrate and Athletic Performance* indexados nos descritores em ciências da saúde (DECS).

Os critérios de inclusão foram: estudos que tratam da temática, ensaios clínicos, meta analises, revisão sistemática e estudos randomizados controlados, estudos com atletas e entusiastas, disponível na íntegra em português e inglês. Os critérios de exclusão foram: artigos que não contemplassem a temática e duplicados.

A fim de sistematizar todas as informações encontradas, foi elaborado um fluxograma com identificação das bases de dados usadas, triagem realizada, caracteres de exclusão e inclusão (Figura 1).

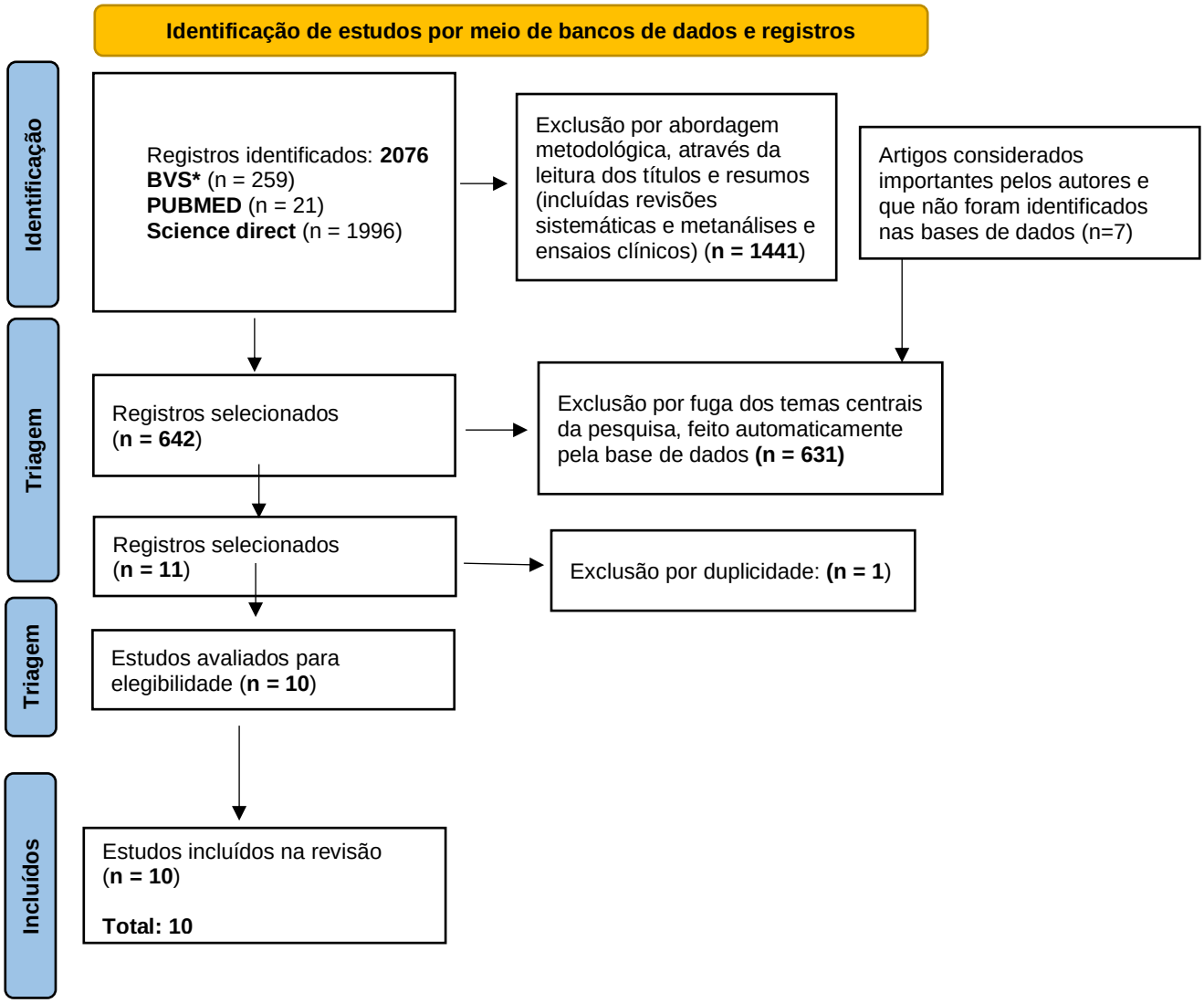

Figura 1. fluxograma de coleta de dados

3.1 CATEGORIAS DE ANÁLISE

Para uma melhor sumarização dos artigos foi pesquisado todos os dados dos periódicos, trazendo a luz informações como título, autores, revista e país de origem do artigo, base de dados que foram encontrados, link para melhor localização dos títulos, referência, citação, objetivo, método e os principais resultados encontrados nas obras. Posteriormente foi feita uma análise de conteúdo de Bardin onde se busca analisar semelhanças em dois ou mais artigos a fim de cruzar informações com objetivo de encontrar similitudes (CAMPOS, 2004).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a análise dos artigos encontrados, pode-se observar uma prevalência de publicações originais e de revisão no ano de 2018, em revistas com foco em fisiologia e esporte. Com base nos conteúdos estudados segue os artigos selecionados com suas respectivas características.

Quadro 1. Principais achados dos estudos selecionados.

Referências	Tipo/objeto de estudo	Achados
Gejl & Nybo., 2021.	Revisão sistemática e metanálise.	A periodização de carboidratos sozinha não conseguiu aumentar performance em atletas.
Burke *et al*., 2000.	Ciclistas	Estratégia de carregamento de carboidrato não conseguiu aumentar performance no percurso de 100km.
Chen *et al*., 2008.	Corredores	Sem diferença no tempo para completar a prova entre os grupos alto carboidrato, mas com aumento de performance no grupo.
Burke., 2010.	Revisão	Mostrou adaptações celulares positivas, mas não conseguiu evidenciar aumento de performance.
Gejl *et al*., 2017	Atletas de provas de resistência.	A estratégia não mostrou aumento de desempenho e adaptações musculares superiores ao grupo controle.
Pilegaard *et al*., 2002.	Homens treinados.	Foi observado aumento de genes metabólicos em resposta ao esforço físico.
Impey *et al*., 2018.	Opinião atual	Mostra que a diminuição a níveis críticos de glicogênio muscular pode levar a adaptações agudas e crônicas ao músculo.
Marquet *et al*., 2016.	Ciclistas	O treinamento com uso da estratégia mostrou resultado em performance de atletas de resistência.

Hearris *et al*., 2018.	Revisão	Estratégia de "*train low*" deve pode ser usada em sessões de treino que não seja comprometida pelo baixo estoque de carboidrato.
Hensen *et al*., 2005.	Homens destreinados	Treinar duas vezes a cada dois dias pode ser melhor do que apenas um treino por dia.

A periodização de carboidratos se popularizou após a implementação de técnicas de biopsia muscular que permitiram uma análise mais aprofundada do conteúdo desse tecido (IMPEY *et al.,* 2018). Essa investigação trouxe três principais pontos, o das possíveis adaptações celulares, influência da estratégia sob o conteúdo do glicogênio muscular e efeito no desempenho esportivo.

Ao ser realizado com baixos estoques de glicogênio, o treinamento induz adaptações principalmente a nível celular como ativação da proteína quinase, que tem papel na transcrição de elementos envolvidos com a biogênese mitocondrial (BURKE, 2010; GEJL & NYBO., 2021).

Um aumento expressivo na transcrição do gene piruvato desidrogenase quinase 4 (PDK4) e genes da proteína de desacoplamento 3 (UCP3) foi observado na perna que treinou com protocolo de baixo glicogênio (HEARRIS *et al*., 2018; PILEGAARD *et al.,* 2002; LANE *et al.,* 2015), outros parâmetros como mRNA de lipase lipoproteica (LPL) e hexoquinase II (HKII) também aumentaram, mas não conseguiram converter em resultados expressivos.

A atividade da enzima HAD também foi observada por Gejl *et al.* (2017), que mostraram nenhuma alteração da mesma para grupos de alto e baixo carboidrato, enquanto Yeo *et al.* (2010), Hulston *et al*. (2010), trouxeram em seu estudo um aumento dessa enzima em ciclistas e em treinamento com pernas isoladas, em Hensen *et al*. (2004), trouxeram aumento dessa enzima no grupo baixo carboidrato mediado pelo treinamento.

Não foi possível observar mudanças significativas na enzima citrato sintase entre os grupos Gejl *et al.* (2017), mas se mostrou aumentada em Yeo *et al.* (2010) e Hensen *et al.* (2004).

Em dois grupos, baixo carboidrato e alta leucina e alto carboidrato e alto leucina não foi possível observar mudança na atividade de AMPKa1 porém a atividade de AMPKa2 foi 4 vezes maior nos dois protocolos, PGC-1 alfa mRNA aumentou os níveis 3 horas após o exercício nos dois grupos. O grupo baixo carboidrato e leucina apresentou aumento no gene p53, sirtuina (SIRT1) e fator

de transcrição mitocondrial (Tfam) comparado ao outro grupo (IMPEY *et al.,* 2016).

Corroborando com os resultados de Lane *et al.* (2015), que em seu estudo com ciclistas notou aumento de PGC1 alfa, Proteína Quinase Ativada (AMPKThr) e PDK4, sendo estes dois últimos mais aumentados no grupo em jejum. Parâmetros de oxidação de gordura também foram maiores no grupo em jejum, corroborado pelo aumento da Carnitina palmitoiltransferase (CPT1).

Apesar das diversas adaptações celulares, não necessariamente há a conversão disso em desempenho esportivo, provavelmente pelos diversos fatores associados com o real a ganho de desempenho como treinamento, contexto alimentar, sono, condições psicológicas e neurológicas (MARQUET *et al.,* 2016).

Acredita-se que o próprio treinamento em si já seja suficiente para induzir adaptações celulares, inibindo em certo grau os potenciais efeitos adicionais da periodização de carboidratos (GEJL e NYBO., 2021).

Ao gerar adaptações celulares, é esperado que haja uma adequação a nível de glicogênio muscular, um elemento imprescindível para uma melhor performance. Essa temática vem sendo estudada para tentar determinar a influência dos estoques de glicogênio na promoção ou não do desempenho. Gejl *et al. (*2017) mostrou que o nível de glicogênio muscular após exercício foi 18% maior no grupo que estava no protocolo baixo carboidrato e 15% para indivíduos que seguiam o protocolo alto carboidrato talvez explicada pelo lactato aumentado na corrente sanguínea após os testes, sugerindo que o mesmo estava sendo usado como substrato para a gliconeogênese. Burke *et al. (*2000) estudaram sete ciclistas treinados que fizeram uma prova de 100km, com isso notou-se que o grupo que fez a periodização também aumentou seus estoques de glicogênio pré exercício porem convertendo em melhora mínima de desempenho.

Esse resultado pode ter sido influenciado pelo consumo de carboidrato intra treino, o que pode ter mitigado os efeitos ergogênicos da estratégia, além do mais, a disponibilidade de energia pode se tornar um fator limitante para a continuidade e desempenho aprimorado no exercício, que depende de altas taxas de oxidação de carboidratos (HEARRIS *et al*., 2018). Efeito semelhante foi observado por Tomcik *et al*. (2017), onde não foi possível também observar

melhoria de desempenho, contudo, foi observado que no grupo carregamento de carboidrato houve uma maior concentração de glicogênio muscular comparado ao grupo com dieta moderada. Acredita-se que tal efeito esteja relacionada com a ingestão de creatina consumida, que aumenta o volume celular, favorecendo a maior capacidade de glicogênio (POWERS *et al., 2003)*.

Em um estudo conduzido por Pilegaard *et al. (*2002), também se notou que durante o exercício o glicogênio do grupo controle tinha diminuído em 31% enquanto o da perna com baixo glicogênio diminuiu-se apenas 9%, efeito proporcional entre os grupos, apesar da perna com baixo glicogênio permanecer com seus níveis significativamente mais baixo do que a outra perna.

Outra estratégia de periodização de carboidratos estudada foi a de *sleep low*, onde Marquet *et al.* (2016), trouxeram resultados positivos no desempenho e acreditam que isso pode ter sido resultado de um melhoramento dos estoques de glicogênio muscular em repouso. A hipótese vem através dos dois treinos realizados durante o dia, onde o segundo é feito com quantidades baixas de glicogênio, Hansen *et al*. (2005), trouxeram em um estudo semelhante que o conteúdo de glicogênio também foi maior no músculo que foi exposto a esta estratégia; todavia, uma limitação apresentada no estudo foi a falta na análise de biopsia muscular para analisar com certeza os níveis dos estoques de glicogênio.

O treinamento também melhorou significantemente os estoques de glicogênio no grupo com baixo glicogênio, teorizando-se que esse acontecimento esteja relacionado com a enzima glicogênio sintase (GS) que influenciaria no aumento do conteúdo do glicogênio muscular (HANSEN *et al.,*2005).

O efeito no desempenho esportivo tem sido uns dos principais pontos analisados nos trabalhos para tentar determinar a eficácia da estratégia. Burke *et al.* (2000), trouxeram em seu trabalho com ciclistas bem treinados três dias antes de uma competição de 100km que a carga de carboidratos não mostrou efeito adicional no desempenho, resultado semelhante foi obtido por Chen *et al.* (2008), que ao trabalhar durante 3 dias com uma carga de carboidratos de diferentes índices e cargas glicêmicas em nove corredores saudáveis não pode notar também aumento de desempenho.

Resultado semelhante foi observado por Gejl *et al.* (2017) que mostraram em seu estudo com atletas de elite durante 4 semanas que a manipulação de carboidrato não se mostrou positiva para ganho de desempenho em relação ao grupo controle, entretanto os trabalhos trazem como objetos de estudo atletas de elite ou bem treinados, fator esse que Gejl e Nybo. (2021) trazem em sua revisão de meta análise sobre atletas bem treinados os quais podem sentir menor efeito da estratégia por já estarem mais adaptados aos efeitos celulares benéficos.

Ademais, Hensen *et al.* (2004) também trouxeram um panorama com sete homens destreinados onde eles faziam exercícios de extensão de joelho com a perna em alto ou baixo glicogênio, com isso notou-se um aumento positivo da potência máxima de ambas as pernas, contudo, outro achado interessante foi que a perna no protocolo baixo glicogênio teve uma melhora de até duas vezes no tempo até a exaustão.

Por outro lado, Marquet *et al. (*2016), notaram em seu estudo com 11 ciclistas um maior desempenho, mostrado na forma de menor tempo para a conclusão do trajeto de 20km para o grupo seguindo a estratégia “dormir baixo” (MARQUET *et al.,* 2016). Contudo, os participantes do grupo “dormir baixo” notaram maior percepção do esforço para realizar a tarefa, fenômeno talvez explicado pela baixa disponibilidade de carboidrato, nutriente essencial para performance (HEARRIS *et al*., 2018).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A estratégia de periodização de carboidratos parece ser uma boa estratégia no que se tange a adaptações celulares, mostrando benefício em enzimas mitocondriais e aumento de estoques de glicogênio muscular, contudo, os presentes estudos ainda falham em demonstrar a conversão de melhora celular e de glicogênio em desempenho na vida real.

Um fator que talvez seja limitante encontrado nos trabalhos é a população estudada, sendo em sua maioria de atletas bem treinados, fator que pode restringir efeitos adicionais no desempenho, visto que esses atletas tendem a já serem mais adaptados a estímulos do exercício.

Mais estudos se fazem essenciais, buscando estudar outras populações e buscando adaptar as estratégias para situações de vida real, onde o atleta encontra todos os desafios em termos de alimentação, treinamento e vida social.

REFERÊNCIAS

ANDREWS, J. L. et al. Carbohydrate loading and supplementation in endurance-trained women runners. **Journal of applied physiology**, v. 95, p. 584–590, 2003.

ASTRAND, P. O. et al. Disposal of lactate during and after strenuous exercise in humans. **Journal of applied physiology**, v. 61, n. 1, p. 338–343, 1986.

BURKE, L. M. Fueling strategies to optimize performance: training high or training low?: Fueling strategies to optimize performance. **Scandinavian journal of medicine & science in sports**, v. 20, p. 48–58, 2010.

BURKE, L. M. et al. Carbohydrate loading failed to improve 100-km cycling performance in a placebo-controlled trial. **Journal of applied physiology**, v. 88, n. 4, p. 1284–1290, 2000.

CAMPOS, C. J. G. Método de análise de conteúdo: ferramenta para a análise de dados qualitativos no campo da saúde. **Revista brasileira de enfermagem**, v. 57, n. 5, p. 611–614, 2004.

CERMAK, N. M.; VAN LOON, L. J. C. The use of carbohydrates during exercise as an ergogenic aid. **Sports medicine**, v. 43, n. 11, p. 1139–1155, 2013.

CHEN, Y. et al. Effect of CHO loading patterns on running performance. **International Journal of Sports Medicine**, v. 29, n. 7, p. 598–606, 2008.

COGGAN, A. R.; COYLE, E. F. Reversal of fatigue during prolonged exercise by carbohydrate infusion or ingestion. **Journal of applied physiology**, v. 63, n. 6, p. 2388–2395, 1987.

GEJL, K. D. et al. No Superior Adaptations to Carbohydrate Periodization in Elite Endurance Athletes. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 49, n. 12, p. 2486–2497, 2017.

GEJL, K. D.; NYBO, L. Performance effects of periodized carbohydrate restriction in endurance trained athletes – a systematic review and meta-analysis. **Journal of the International Society of Sports Nutrition**, v. 18, n. 1, 2021.

HANSEN, A. K. et al. Skeletal muscle adaptation: training twice every second day vs. training once daily **Journal of applied physiology**, v. 98, p. 93–99, 2005.

HARGREAVES, M. Exercise, muscle, and CHO metabolism. **Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports**, v. 25, p. 29–33, 2015.

HAWLEY, J. A. et al. Carbohydrate-loading and exercise performance: An update. **Sports medicine**, v. 24, n. 2, p. 73–81, 1997.

HEARRIS, M. A. et al. Regulation of muscle glycogen metabolism during exercise: Implications for endurance performance and training adaptations. **Nutrients**, v. 10, n. 3, 2018.

HULSTON, C. J. et al. Training with low muscle glycogen enhances fat metabolism in well-trained cyclists. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 42, n. 11, p. 2046–2055, 2010.

IMPEY, S. G. et al. Fuel for the work required: A practical approach to amalgamating train-low paradigms for endurance athletes. **Physiological Reports**, v. 4, n. 10, 1 maio 2016.

LANE, S. C. et al. Effects of sleeping with reduced carbohydrate availability on acute training responses. **Journal of applied physiology**, v. 119, n. 6, p. 643–655, 2015.

MARQUET, L. A. et al. Periodization of carbohydrate intake: Short-term effect on performance. **Nutrients**, v. 8, n. 12, 2016.

OJA, P. et al. Health benefits of different sport disciplines for adults: systematic review of observational and intervention studies with meta-analysis. **British journal of sports medicine**, v. 49, n. 7, p. 434–440, 2015.

PILEGAARD, H. et al. Influence of pre-exercise muscle glycogen content on exercise-induced transcriptional regulation of metabolic genes. **Journal of Physiology**, v. 541, n. 1, p. 261–271, 2002.

PILEGAARD, H. et al. Substrate availability and transcriptional regulation of metabolic genes in human skeletal muscle during recovery from exercise. **Metabolism: clinical and experimental**, v. 54, n. 8, p. 1048–1055, 2005.

POWERS, M. E. et al. Creatine supplementation increases total body water without altering fluid distribution. **Journal of athletic training**, v. 38, n. 1, p. 44–50, 2003.

SOUZA, M. T. DE; SILVA, M. D. DA; CARVALHO, R. DE. Integrative review: what is it? How to do it? **Einstein**, v. 8, n. 1, p. 102–106, 2010.

TOMCIK, K. A. et al. Effects of Creatine and Carbohydrate Loading on Cycling Time Trial Performance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 50, n. 1, p. 141–150, 2018.

YEO, W. K. et al. Skeletal muscle adaptation and performance responses to once a day versus twice every second day endurance training regimens. **Journal of applied physiology,** v. 105, n. 5, p. 1462–1470, 2008.